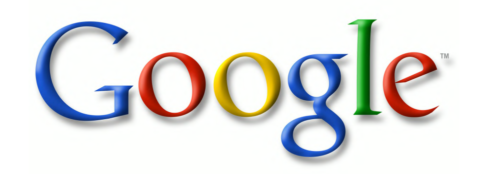


This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

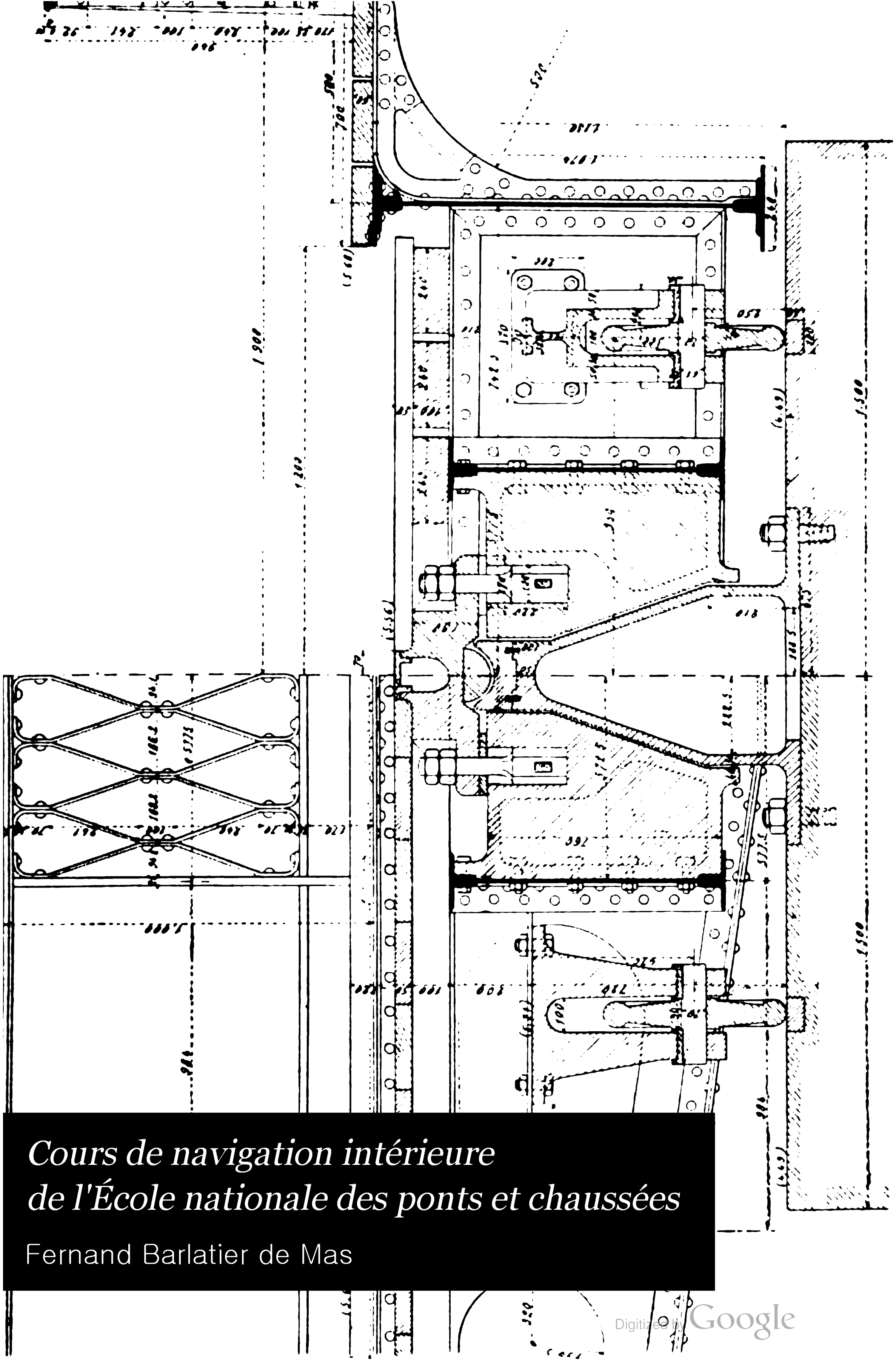
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

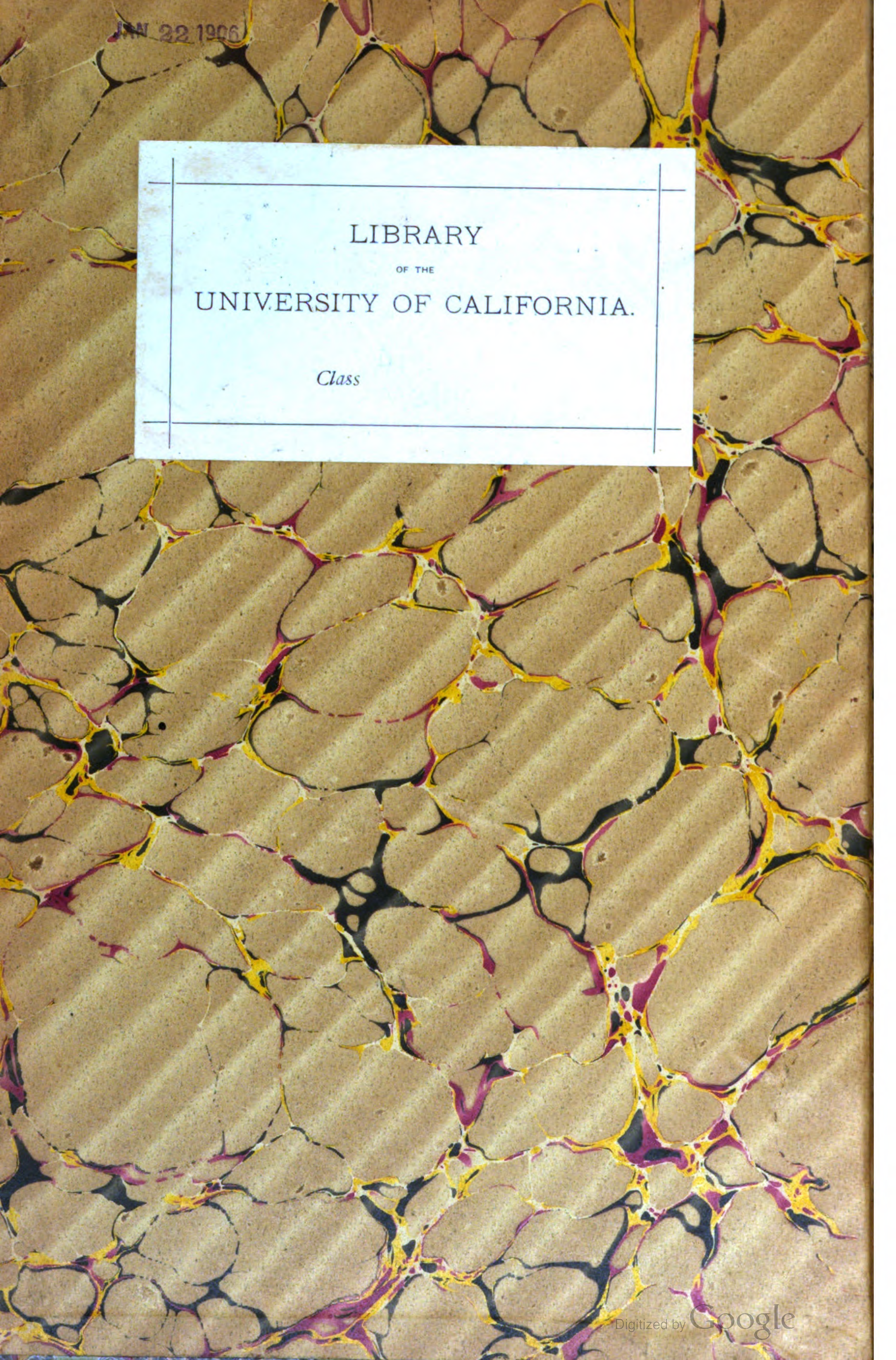
Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`



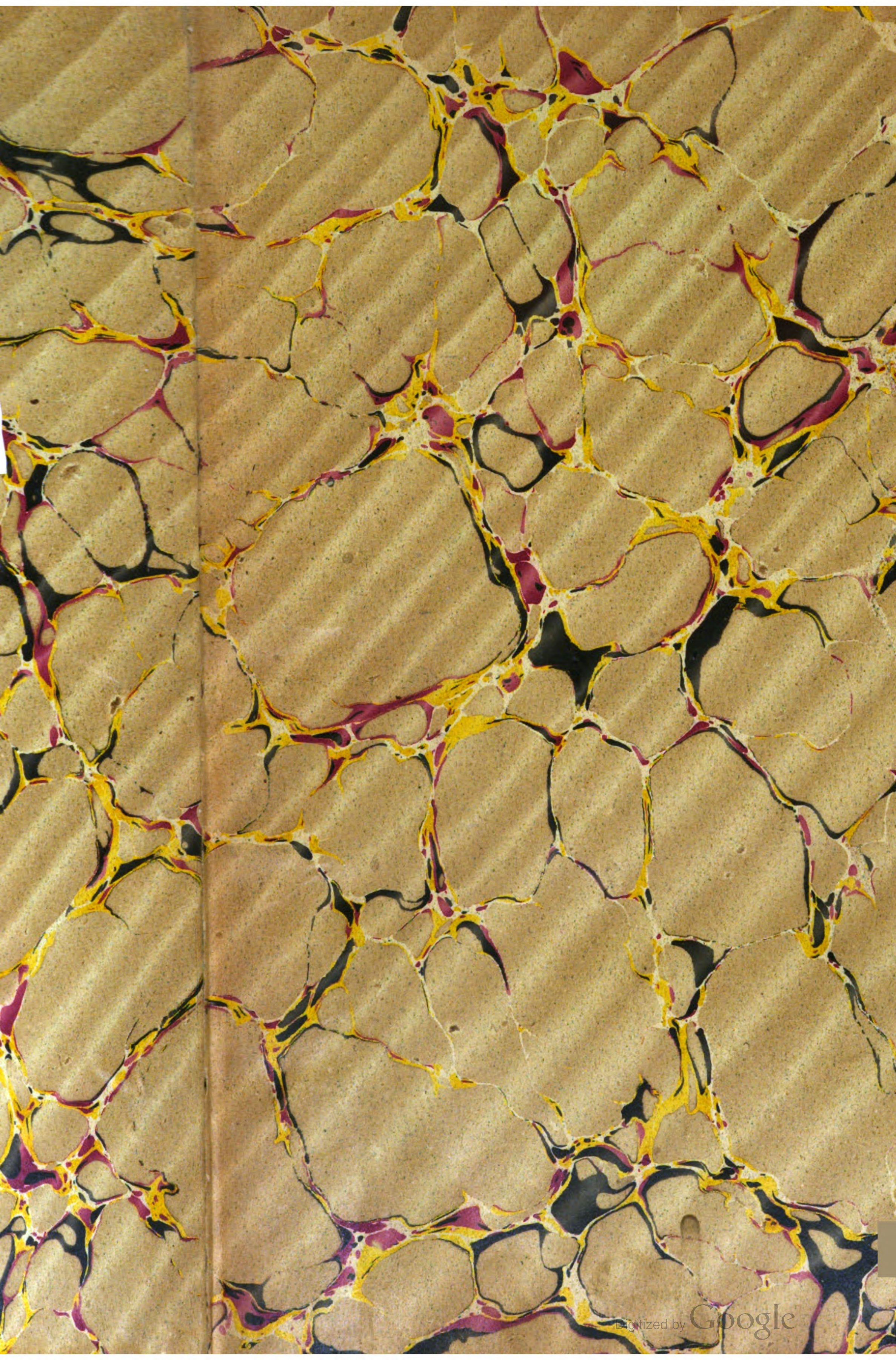
Cours de navigation intérieure de l'École nationale des ponts et chaussées

Fernand Barlatier de Mas

Digitized by Google



JAN 22 1906
LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF CALIFORNIA.
Class
Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

ENCYCLOPÉDIE
DES
TRAVAUX PUBLICS
Fondée par **M.-C. LECHALAS**, Inspecteur général des Ponts et Chaussées
Médaille d'or à l'Exposition universelle de 1889

COURS DE NAVIGATION INTÉRIEURE

DE L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES

CANAUX

PAR

F. B. DE MAS
INSPECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES
PROFESSEUR A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES

SECTION TRANSVERSALE. TRACÉ. OUVRAGES A LA RENCONTRE DES VOIES DE COMMUNICATION PAR TERRE. OUVRAGES A LA TRAVERSÉE DES COURS D'EAU. ASCENSEURS ET PLANS INCLINÉS. CONSOMMATION D'EAU DES CANAUX. ALIMENTATION DES CANAUX. RÉSERVOIRS. EXPLOITATION.


LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

PARIS
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE CH. BÉRANGER, ÉDITEUR
Successeur de BAUDRY & Cie
15, RUE DES SAINTS-PÈRES
MAISON A LIÈGE : 21, RUE DE LA RÉGENCE

Digitized by Google

ENCYCLOPÉDIE DES TRAVAUX PUBLICS

Directeur : G. LECHALAS, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, quai de la Bourse, 13, Rouen.

Volumes grand in-8°, avec de nombreuses figures.

Médaille d'or à l'Exposition universelle de 1889
Exposition de 1900 (Voir pages 3 et 4 de la couverture)

OUVRAGES DE PROFESSEURS A L'ÉCOLE DES PONTS ET CHAUSSÉES

M. Bechmann. *Distributions d'eau* et *Assainissement*. 2e édit., 2 vol. à 20 fr....... 40 fr.

M. Bricka. *Cours de chemins de fer de l'Ecole des ponts et chaussées*. 2 vol., 1343 pages et 464 figures........................ 40 fr.

M. Colson. *Cours d'économie politique* : Tome I, 10 fr. — Tome II............... 10 fr.

M. L. Durand-Claye. *Chimie appliquée à l'art de l'ingénieur*, en collaboration avec *MM. Derôme* et *Férel*, 2e édit. considérablement augmentée, 15 fr. — *Cours de routes de l'Ecole des ponts et chaussées*, 606 pages et 234 figures, 2e édit., 20 fr. — *Lever des plans et nivellement*, en collaboration avec *MM. Pelletan* et *Lallemand*. 1 vol., 703 pages et 280 figures (cours des Ecoles des ponts et chaussées et des mines, etc.).................. 25 fr.

M. Flamant. *Mécanique générale* (*Cours de l'Ecole centrale*), 1 vol. de 544 pages, avec 203 figures, 20 fr. — *Stabilité des constructions et résistance des matériaux*. 2e édit., 670 pages, avec 270 figures, 25 fr. — *Hydraulique (Cours de l'Ecole des ponts et chaussées)*, 1 vol., 2e éd. considérablement augmentée (Prix Montyon de mécanique) ; XXX, 685 pages avec 130 figures........................ 25 fr.

M. Gariel. *Traité de physique*. 2 vol., 448 figures............................ 20 fr.

M. Hirsch. *Cours de machines à vapeur et locomotives*. 1 vol. 510 pages, 314 fig... 18 fr.

M. F. Laroche. *Travaux maritimes*. 1 vol. de 490 pages, avec 116 figures et un atlas de 46 grandes planches, 40 fr. — *Ports maritimes*. 2 vol. de 1006 pages, avec 524 figures et 2 atlas de 37 planches, double in-4° (*Cours de l'Ecole des ponts et chaussées*)..... 50 fr.

M. F. B. de Mas, Inspecteur général des ponts et chaussées. *Rivières à courant libre*, 1 vol. avec 97 figures ou planches, 17 fr. 50. — *Rivières canalisées*. 1 vol. avec 176 figures ou planches, 17 fr. 50. — *Canaux*. 1 vol. avec 190 figures ou planches.......... 17 fr. 50

M. Nivoit, Inspecteur général des mines : *Cours de géologie*, 2e édition, 1 vol. avec carte géologique de la France ; 615 pages, 429 fig. et un tableau des formations géologiques de 7 pages........................ 20 fr.

M. M. d'Ocagne. *Géométrie descriptive et Géométrie infinitésimale* (cours de l'Ecole des ponts et chaussées), 1 vol., 340 fig........................ 12 fr.

M. de Préaudeau, Inspect. général des P.-et-Ch., prof. à l'Ecole nat. *Procédés généraux de construction. Travaux d'art*. Tome I, avec 508 fig. 20 fr. Tome II, avec 389 fig. 20 fr.

M. J. Résal. *Traité des Ponts en maçonnerie*, en collaboration avec *M. Degrand*. 2 vol., avec 600 figures, 40 fr. — *Traité des Ponts métalliques* 2 vol., avec 500 figures, 40 fr. — *Constructions métalliques, élasticité et résistance des matériaux* : *fonte, fer et acier*. 1 vol. de 652 pages, avec 203 figures, 20 fr. — Le 1er volume des *Ponts métalliques* est à sa seconde édition (revue, corrigée et très augmentée). — *Cours de ponts*, professé à l'Ecole des ponts et chaussées, 1 vol. de 410 pages, avec 284 figures (*Etudes générales et ponts en maçonnerie*), 14 fr. — *Cours de Résistance des matériaux* (Ecole des ponts et chaussées), 120 figures., 16 fr. — *Cours de stabilité des constructions*, 240 figures, 20 fr. — *Poussée des terres et stabilité des murs de soutènement*........................ 10 fr.

OUVRAGES DE PROFESSEURS A L'ÉCOLE CENTRALE DES ARTS ET MANUFACTURES

M. Deharme. *Chemins de fer. Superstructure* ; première partie du cours de chemins de fer de l'Ecole centrale. 1 vol. de 696 pages, avec 310 figures et 1 atlas de 73 grandes planches in-4° doubles (voir *Encyclopédie industrielle* pour la suite de ce cours). 50 fr. On vend séparément : *Texte*, 15 fr.; *Atlas*, 35 fr.

M. Denfer. *Architecture et constructions civiles*. Cours d'architecture de l'Ecole centrale : *Maçonnerie*. 2 vol., avec 794 figures, 40 fr. — *Charpente en bois et menuiserie*. 1 vol., avec 680 figures, 25 fr. — *Couverture des édifices* 1 vol., avec 423 figures, 20 fr. — *Charpenterie métallique, menuiserie en fer et serrurerie*. 2 vol., avec 1.050 figures, 40 fr. — *Fumisterie* (*Chauffage et ventilation*). 1 vol. de 726 pages, avec 731 figures (numérotées de 1 à 375, l'auteur affectant chaque groupe de figures d'un numéro seulement). 25 fr.
Plomberie : Eau ; *Assainissement* ; *Gaz*, 1 vol. de 568 p. avec 391 fig.......... 20 fr.

M. Dorion. *Cours d'Exploitation des mines*. 1 vol. de 692 pages, avec 1.100 figures. 25 fr.

M. Monnier. *Electricité industrielle*, cours professé à l'Ecole centrale, 2e édition considérablement augmentée, 1 vol. de 826 pages ; 404 très belles figures de l'auteur.... 25 fr.

M. Mel Pelletier. *Droit industriel*, cours professé à l'Ecole centrale. 1 vol........ 15 fr.

MM. E. Rouché et Brisse, anciens professeurs de géométrie descriptive à l'Ecole centrale. *Coupe des pierres*. 1 vol. et un grand atlas (avec de nombreux exemples)....... 25 fr.

OUVRAGES D'UN PROFESSEUR AU CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS

M. E. Rouché, membre de l'Institut. *Eléments de statique graphique*. 1 vol..... 12 fr. 50

MM. Rouché et Lucien Lévy. *Calcul infinitésimal*, 2 vol. de 557 et 829 p. (*Enc. indust.*) 15 fr.

(*Voir la suite ci-après*)

Digitized by Google

NAVIGATION INTÉRIEURE

CANAUX

Digitized by Google

Tous les exemplaires des **CANAUX** *de M. DE MAS devront être revêtus de la signature de l'auteur.*

Digitized by Google

ENCYCLOPÉDIE
DES
TRAVAUX PUBLICS
Fondée par **M.-C. LECHALAS**, Inspecteur général des Ponts et Chaussées
Médaille d'or à l'Exposition universelle de 1889

COURS DE NAVIGATION INTÉRIEURE

DE L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES

CANAUX

PAR

F. B. DE MAS
INSPECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES
PROFESSEUR A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES

SECTION TRANSVERSALE. TRACÉ. OUVRAGES A LA RENCONTRE DES VOIES DE COMMUNICATION PAR TERRE. OUVRAGES A LA TRAVERSÉE DES COURS D'EAU. ASCENSEURS ET PLANS INCLINÉS. CONSOMMATION D'EAU DES CANAUX. ALIMENTATION DES CANAUX. RÉSERVOIRS. EXPLOITATION.



PARIS
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE CH. BÉRANGER, ÉDITEUR
Successeur de BAUDRY & Cie
15, RUE DES SAINTS-PÈRES
MAISON A LIÈGE : 21, RUE DE LA RÉGENCE

1904
TOUS DROITS RÉSERVÉS

Digitized by Google

M3

GENERAL

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES

CANAUX

CHAPITRE PREMIER

SECTION TRANSVERSALE

Digitized by Google

CHAPITRE II

TRACÉ

Pages

§ 1. — *Canaux latéraux.*

§ 2. — *Canaux à point de partage*

CHAPITRE III

OUVRAGES A LA RENCONTRE DES VOIES DE COMMUNICATION PAR TERRE

§ 1. — *Ponts fixes par-dessus le canal.*

§ 2. — *Ponts mobiles.*

Digitized by Google

Pages

§ 3. — *Ponts par-dessous.*

CHAPITRE IV

OUVRAGES A LA TRAVERSÉE DES COURS D'EAU

§ 1. — *Aqueducs.*

§ 2. — *Ponts-canaux.*

§ 3. — *Traversées des rivières à niveau.*

Digitized by Google

CHAPITRE V

ASCENSEURS ET PLANS INCLINÉS

Digitized by Google

CHAPITRE VI

CONSOMMATION D'EAU DES CANAUX

Digitized by Google

Pages

§ 4. — *Travaux d'étanchement.*

CHAPITRE VII

ALIMENTATION DES CANAUX

§ 1. — *Canaux latéraux*

§ 2. — *Canaux à point de partage.*

Digitized by Google

Pages

CHAPITRE VIII

RÉSERVOIRS

§ 1. — *Considérations générales.*

§ 2. — *Réservoirs avec digue en terre.*

§ 3. — *Réservoirs de systèmes mixtes.*

Digitized by Google

§ 4. — *Réservoirs avec digue en maçonnerie.*

CHAPITRE IX

EXPLOITATION

§ 1. — *Entretien de la voie.*

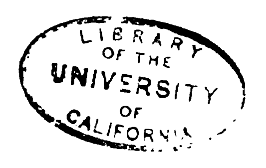
Digitized by Google

Digitized by Google

ERRATA

Page 429,	ligne 13,	*lire* :	Réservoir	*au lieu de* :	Réservoirs.
— 435,	— 5,	—	46.830.000	—	46.380.000.

Digitized by Google



CHAPITRE PREMIER

SECTION TRANSVERSALE

§ 1. *Section transversale légale en France.* — § 2. *Détermination rationnelle de la section transversale.*

1. Considérations générales. — Pas plus que la *régularisation*, la *canalisation* des cours d'eau naturels n'est une panacée universelle.

C'est ainsi que dans notre pays, les principales rivières, la Loire, la Garonne, le Rhône, ne se prêtent pas à ce genre d'amélioration. Leur pente est telle que les barrages devraient se succéder à très faible distance, pour que chacun d'eux pût assurer un mouillage suffisant sur le busc d'aval de l'écluse accolée au barrage immédiatement supérieur. Le régime torrentiel de ces cours d'eau, la largeur et la mobilité de leur lit complètent un ensemble de conditions qui rendraient la canalisation extraordinairement coûteuse et tout à fait aléatoire.

D'autres rivières, dont la partie moyenne a été canalisée avec succès, ne se prêtent plus à la canalisation dans la partie supérieure de leur cours. Leur lit est devenu trop sinueux, trop étroit; leur débit n'est plus suffisant; les berges sont trop basses, les usines se multiplient, les crues deviennent trop fréquentes et subites, etc.

Si on veut assurer à ces vallées ou parties de vallées le

Digitized by Google

bénéfice d'une voie navigable, il est préférable d'avoir recours à une voie entièrement artificielle, composée d'une série de biefs horizontaux séparés par des écluses. Elle longe le cours d'eau naturel à une distance plus ou moins grande ; d'où son nom de *canal latéral.*

Si dans certaines vallées ou parties de vallées, la voie navigable entièrement artificielle est la solution *préférable*, elle constitue la solution *inévitable*, quand on veut passer d'une vallée à une autre, en franchissant la ligne de partage des eaux qui se dresse entre les deux, et alors elle prend le nom de *canal à point de partage.*

Mais qu'il s'agisse d'un canal latéral ou d'un canal à point de partage, la question qui se pose tout d'abord est celle des dimensions transversales qu'il convient de donner à la voie navigable artificielle.

En France la question a été résolue législativement ; la loi du 5 août 1879 a fixé les dimensions *minima* des lignes principales [1]. Nous avons donc à considérer d'abord dans le présent chapitre quelles dispositions résultent de la stricte application de la loi ; l'étude de la *section transversale légale* fera l'objet de la première partie. Nous rechercherons ensuite dans quelle mesure il peut être nécessaire de majorer les minima inscrits dans la loi, pour satisfaire aux exigences de l'exploitation ; ce sera l'objet de la seconde partie intitulée *détermination rationnelle de la section transversale.*

1. L'article 2 de cette loi est ainsi conçu :

« Les lignes principales doivent avoir *au minimum* les dimensions suivantes :

« Profondeur d'eau	2 m.
« Largeur des écluses	5 m. 20
« Longueur des écluses, entre la corde du mur de chute et les enclaves de la porte d'aval	38 m. 50
« Hauteur libre sous les ponts (pour les canaux)	3 m. 70

« Il ne peut être dérogé à cette règle que par mesure législative. »

Digitized by Google

§ 1

SECTION TRANSVERSALE LÉGALE EN FRANCE

2. Dimensions de la cuvette. — Elle doit donner passage à des bateaux mesurant, avec 38 m. 50 de longueur, 5 mètres de largeur et 1 m. 80 d'enfoncement maximum.

C'est pour satisfaire à cette dernière condition que la profondeur a été fixée au minimum à 2 mètres ; et certes, une différence de 0 m. 20 entre le mouillage et le tirant d'eau est bien la plus faible qu'on puisse imaginer. Le plafond correspondant à cette profondeur de 2 mètres est souvent appelé *plafond théorique.*

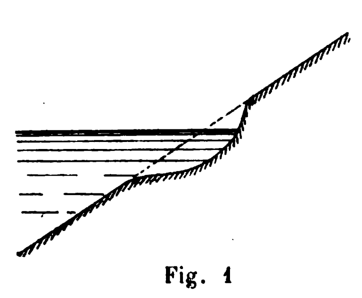
Deux bateaux doivent pouvoir se croiser, ce qui exige, au plafond théorique, une largeur au moins égale au double de la largeur d'un bateau, soit 10 mètres. Encore le croisement n'est-il possible que grâce à l'inclinaison des talus qui donne un certain supplément de largeur au niveau du fond des bateaux.

Cette inclinaison varie avec la nature des terrains ; elle doit être telle que les talus puissent se soutenir sans le secours d'aucun revêtement. Le plus souvent, ils sont réglés à 3 de base pour 2 de hauteur. La largeur au niveau du fond des bateaux les plus chargés, c'est-à-dire à 0 m. 20 au-dessus du plafond théorique, est donc de 10 m. 60, ce qui correspond à un jeu de 0 m. 20 entre deux bateaux qui se croisent ainsi qu'entre chacun d'eux et le talus de la cuvette.

A peu près au niveau normal des eaux, on ménage quelquefois une risberme de 0 m. 40 à 0 m. 60 de largeur (pl. I, page 5), en vue de prévenir la dégradation des talus. Ces derniers sont effectivement soumis à de nombreuses causes de destruction dans le voisinage du plan d'eau : alternatives

Digitized by Google

d'humidité et de sécheresse, de gel et de dégel; batillage de l'eau soulevée par le vent; érosions produites par l'onde qui accompagne le passage des bateaux rapides, des bateaux à vapeur notamment; frottement des bateaux vides poussés ou attirés à la rive par le vent ou l'obliquité du halage. Au bout d'un certain temps de service, les talus de la cuvette d'un canal présentent, à la hauteur du plan d'eau, une déformation caractéristique (fig. 1) d'où résultent à la fois le danger d'éboulements dans la partie supérieure des talus et la formation de dépôts dans la partie inférieure de la cuvette. La risberme a pour but de prévenir cette déformation, mais pour qu'elle puisse remplir efficacement son office, il faut, surtout dans les terrains friables, qu'elle soit elle-même défendue. On emploie, à cet effet, des fascinages, des gazonnements, des plantations d'arbustes ou mieux de roseaux, quand ces derniers ne poussent pas spontanément. Les roseaux ont le double avantage de consolider le terrain et de constituer en même temps un matelas élastique qui amortit les chocs de l'eau contre les talus.

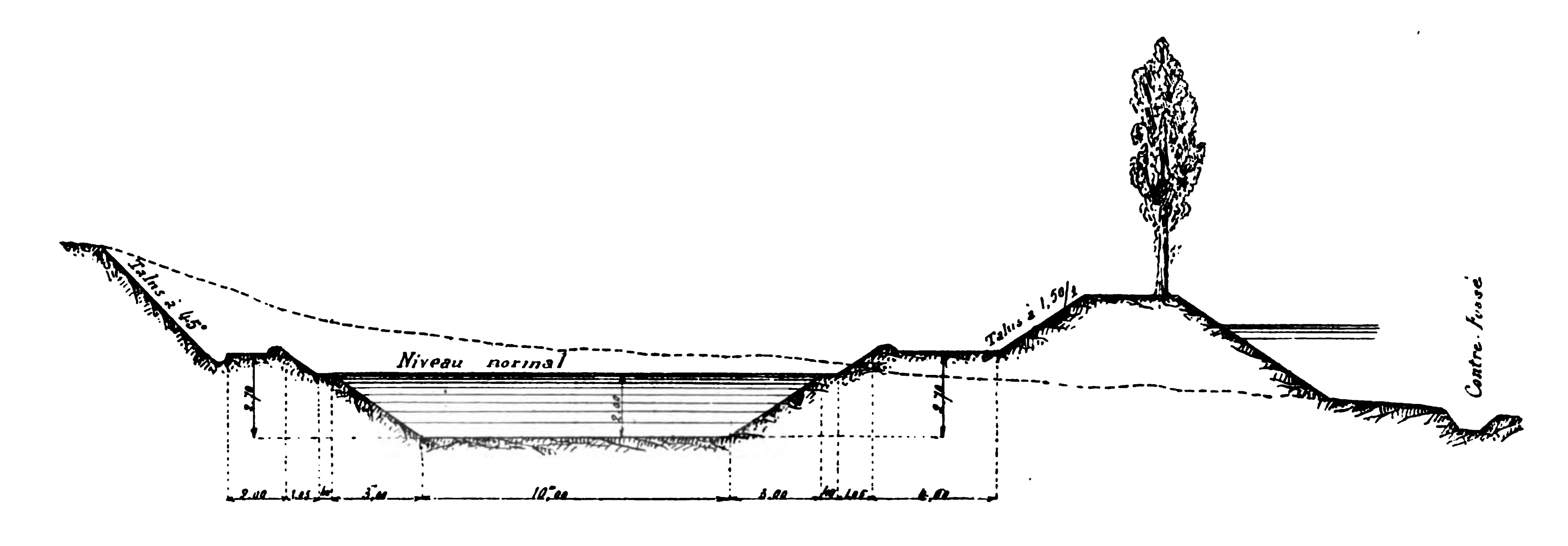

Fig. 1

Quoi qu'il en soit, dès que le mouvement de la navigation prend une grande importance, ces moyens de protection des talus deviennent insuffisants et il faut avoir recours aux revêtements à pierres sèches ou maçonnés; mais ce sont là plutôt des travaux d'entretien et de réparation; nous y reviendrons lorsque nous traiterons les diverses questions qui se rattachent à l'entretien des canaux.

Il est important de noter que les dimensions données ci-dessus sont des *minima* et qu'il y a un réel intérêt à les augmenter toutes les fois qu'il est possible. En ce qui concerne notamment la profondeur, il est préférable de la porter immédiatement à 2 m. 20. On facilitera ainsi, non seulement le

Digitized by Google

N. B. — Les dimensions inscrites dans la loi du 5 août 1879 ont été strictement appliquées.



Pl. I. SECTION TRANSVERSALE LÉGALE EN FRANCE

Digitized by Google

passage des bateaux, mais encore le service de l'entretien, qui ne sera plus obligé de procéder à des dévasements aussitôt que les moindres dépôts se seront formés sur le plafond du canal.

Si on ne prend pas cette mesure dès le début, il faut au moins se réserver pour l'avenir la possibilité de la réaliser. On adoptera donc des dispositions telles que le mouillage puisse être ultérieurement augmenté, soit par un approfondissement de la cuvette, soit par un relèvement du plan d'eau. En conséquence, on ne perdra jamais de vue, dans la rédaction des projets, que les ouvrages par-dessus le canal doivent pouvoir se relever facilement, là où le plafond ne saurait être abaissé, tandis qu'au contraire les ouvrages inférieurs au plafond doivent être plus profondément enfouis, là où les circonstances empêcheraient la surélévation du plan d'eau.

3. Chemins de halage.— A 0 m. 70 environ au-dessus du niveau de l'eau, règne, sur l'une des rives, le chemin de halage auquel on donne habituellement 4 mètres de largeur et que l'on borde, du côté du canal, d'une petite banquette gazonnée de 0 m. 30 à 0 m. 40 de hauteur. Sur l'autre rive, se place le chemin de contre-halage ou marchepied, qui n'a souvent que 2 mètres et est aussi bordé d'une petite banquette.

Lorsque le canal est à flanc de coteau, le chemin de halage se place habituellement du côté de la vallée et le marchepied vers le coteau, afin de diminuer le cube des déblais (pl. I). Ce n'est pas là toutefois une règle absolue. Il faut aussi tenir compte de beaucoup d'autres circonstances locales, parmi lesquelles figure la direction des vents dominants. Ainsi que nous l'avons déjà dit, en effet, le vent a une grande influence sur la marche des bateaux et ce serait un tort de placer le chemin de halage sous le vent, lorsqu'il est possible de le placer au vent.

Les deux chemins sont empierrés, ou au moins sablés, respectivement sur 2 mètres et 1 mètre de largeur au minimum.

Digitized by Google

Sur les voies navigables à circulation intensive, où, par conséquent, les croisements sont nombreux, on a eu souvent à regretter de ne pas avoir deux chemins semblables à mettre à la disposition du halage. Ce doublement permet de donner un côté à la navigation descendante, l'autre à la navigation montante, et d'éviter ainsi les pertes de temps résultant du débillage que nécessitent toujours les croisements avec un chemin de halage unique.

D'autre part, la création de nouvelles industries ou toute autre circonstance peut appeler le halage à changer de rive et à s'opérer sur la rive opposée à celle qu'on avait cru devoir primitivement lui assigner.

Enfin, il y a si peu de différence de largeur entre le marchepied et le chemin de halage que la distinction tend de plus en plus à disparaître et que le premier établissement d'un double chemin de halage doit être considéré comme la règle, dès qu'on entrevoit un trafic un peu important.

4. Cavalier. — Du côté de la vallée, portant ou joignant le chemin de halage, se place le cavalier, monté avec les déblais, généralement en excès, que fournissent la cuvette et la fouille dans le coteau. Son rôle est double : d'une part, il renforce la digue qui forme un des côtés de la cuvette et qui soutient, dans les conditions habituelles, les eaux du canal ; d'autre part, lorsque le canal est voisin du cours d'eau naturel, il forme digue de protection contre les inondations de ce dernier, ainsi que cela est figuré dans la planche I.

Les talus du cavalier sont réglés à 3 de base pour 2 de hauteur, avec 4 mètres au moins de largeur en couronne s'il porte le chemin de halage. Dans tous les cas, s'il doit protéger le canal contre les inondations, sa largeur et sa hauteur seront telles qu'il constitue une digue insubmersible solide, dépassant de 0 m. 60 à 1 mètre le niveau des plus hautes eaux connues. On conçoit, en effet, que, si les eaux d'inondation pouvaient pénétrer dans le canal, elles y causeraient les

Digitized by Google

plus graves désordres, tant au point de vue de la sécurité des bateaux qui pourraient s'y trouver qu'à celui de la conservation des ouvrages.

5. **Contre-fossés.** — Enfin, deux contre-fossés doivent séparer les dépendances du canal des propriétés riveraines. Le contre-fossé d'amont, qui n'est pas figuré sur la planche I, reçoit toutes les eaux du coteau et les conduit aux aqueducs placés sous le canal, tandis que celui d'aval recueille les filtrations du canal et les dirige dans le lit des ruisseaux que rencontre le tracé. Leurs dimensions répondent aux quantités d'eau qu'ils doivent écouler, quantités qui varient d'un point à l'autre.

Ici doit se placer une observation importante. Au moment où se négocient les acquisitions de terrains, il y a intérêt à élargir notablement les emprises, de façon à posséder le long du canal une zone sur laquelle puissent se faire les approvisionnements, le dépôt des produits de curage, les consolidations ou élargissements dont le temps révèle toujours la nécessité. En attendant leur affectation à tel ou tel usage, ces terrains servent de pépinières ou reçoivent des plantations qui donnent assurément un intérêt convenable du capital d'acquisition. Sur les points où cette précaution n'a pas été prise, on est, le cas échéant, à la merci des riverains.

On remarquera que l'acquisition de cette zone supplémentaire est loin de faire croître le prix des terrains proportionnellement aux surfaces occupées. L'indemnité allouée est réglée sur une double base : d'une part, la valeur vénale du terrain exproprié, suivant son étendue ; d'autre part, le dommage dû au morcellement du reste de la propriété et à la difficulté d'exploitation qui en résulte. Or, ce dommage, souvent aussi important que la valeur vénale du terrain exproprié, demeure constant, quelle que soit la largeur de l'emprise, et cette considération est de nature à permettre de se mettre un peu à l'aise, au point de vue de l'avenir. On élargira donc l'em-

Digitized by Google

prise, très peu là où le terrain est cher, d'une dizaine de mètres, là où il a une valeur moindre, de façon à disposer partout d'une zone latérale au pied des talus.

6. Augmentation de largeur dans les courbes. — La section transversale que nous venons de décrire est celle qui s'applique aux alignements droits. Dans les courbes, il est indispensable d'augmenter la largeur au plafond.

Soit *abcd* le rectangle circonscrit à un bateau placé dans une partie de canal en courbe (fig. 2) ; il va de soi que les moindres distances, restant entre ce rectangle et les courbes

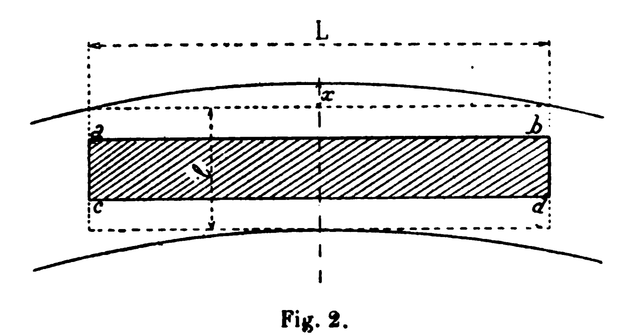


Fig. 2.

qui limitent le plafond, ne doivent pas être inférieures à la moitié de l'excès de la largeur du plafond, dans les alignements droits, sur celle du bateau. Cette condition sera remplie si la *surlageur* donnée au plafond est égale à la flèche de l'arc de la courbe extérieure qui a pour corde la longueur du bateau. C'est là la *surlargeur géométrique* ; si on appelle :

R le rayon de courbure de l'axe du canal,

l la largeur au plafond dans les alignements droits,

L la longueur du bateau,

elle a pour expression $\frac{L^2}{4(2R - l)}$ [1].

1. Soit x la surlargeur cherchée, la flèche de l'arc dont la corde est

Digitized by Google

L'expérience prouve que cette formule donne des valeurs tout à fait insuffisantes et qu'il y a lieu de les multiplier par un coefficient approprié aux dimensions du canal et à celles des embarcations. Plusieurs circonstances rendent nécessaire d'avoir relativement plus d'espace en courbe qu'en alignement droit, notamment l'augmentation des résistances qui s'opposent à la marche du bateau et l'obligation pour ce dernier de changer continuellement de direction.

Pour les canaux des dimensions légales, en France, la circulaire ministérielle du 19 juillet 1880 prescrit de déterminer les largeurs à donner au plafond, dans les courbes, par la formule empirique :

$$10 \text{ m.} + \frac{380}{R}.$$

Dans ces mêmes canaux, les surlargeurs géométriques, en courbe, seraient données par l'expression :

$$\frac{38,5^2}{4\,(2R + 10)}.$$

Nous avons groupé, dans le tableau ci-dessous, les surlargeurs calculées, par l'une et l'autre formule, pour un certain nombre de valeurs de R.

Valeurs de R	Surlargeurs géométriques	Surlargeurs calculées par la formule empirique
m.	m.	m.
200	0,90	1,90
400	0,46	0,95
600	0,31	0,63
800	0,23	0,48
1.000	0,18	0.38

égale à L dans la courbe extérieure ; le rayon de cette courbe

$$R_e = R + \frac{l + x}{2},$$

et l'on a :

$$x\,(2R_e - x) = \frac{L^2}{4},$$

$$x\,(2R + l) = \frac{L^2}{4},$$

$$x = \frac{L^2}{4\,(2R + l)}.$$

Digitized by Google

L'emploi de la formule empirique revient donc à multiplier par un coefficient un peu supérieur à 2 les surlargeurs géométriques.

Sur le canal de l'Elbe à la Trave, dont les dimensions transversales sont, il est vrai, supérieures à celles des canaux du type légal en France, et où les rayons des courbes ne descendent pas au-dessous de 600 mètres, la surlargeur est égale au triple de la flèche correspondant à une corde de 74 mètres. Cette dernière longueur est très sensiblement celle des plus grands bateaux qui fréquentent le canal ; la surlargeur géométrique est donc multipliée par le coefficient 3.

Pour des canaux de dimensions plus grandes encore, du type de celui de Terneuzen à Gand, M. van der Linden, ingénieur principal des Ponts et Chaussées en Belgique, a émis l'opinion qu'il convenait de porter ce coefficient à 4 [1].

7. Profils exceptionnels. — Sur d'autres points encore, la section ci-dessus décrite devra subir des modifications consistant notamment à raidir les talus, en les soutenant, en tant que de besoin, par des perrés ou par des murs. Le cas se rencontrera à la traversée de centres de population où le terrain est très coûteux, dans une grande tranchée, dans une tranchée rocheuse.

Lorsque des difficultés de ce genre se présentent, ce n'est que le plus rarement possible que l'on doit renoncer à la faculté de faire croiser les bateaux, en adoptant, par mesure d'économie, une section rétrécie. Cette solution a été maintes fois admise ; elle a été presque toujours regrettée, surtout quand le rétrécissement s'étend sur une longueur assez grande pour que l'une des extrémités ne soit pas visible de l'autre. Dans ce dernier cas, il est indispensable de ménager, de distance en distance, des gares d'évitement assez rappro-

1. VI[e] Congrès international de navigation intérieure, tenu à La Haye en 1894; *Compte rendu des travaux du Congrès*, page 76.

Digitized by Google

chées pour que les bateaux puissent ne s'engager dans chaque passe rétrécie qu'après avoir constaté qu'elle était libre.

Enfin, il est nécessaire de ménager, de distance en distance, des *bassins de virement* où les bateaux puissent tourner de bout en bout, lorsqu'il n'existe pas à proximité de port assez large pour permettre d'effectuer cette opération. On conçoit, en effet, qu'un bateau ne saurait être condamné à suivre un parcours un peu considérable en marchant la poupe en avant.

8. Plantations. — Les ouvrages destinés à la défense des talus, autres que ceux de la cuvette, ne diffèrent pas sensiblement de ceux qui sont employés sur les routes et les chemins de fer. Tout ce qu'on peut dire, c'est qu'à raison du séjour de l'eau dans la cuvette et de l'humidité fréquente des terrains traversés, la protection des talus des canaux est à la fois plus délicate et plus nécessaire. Les gazonnements, les semis, les plantations d'arbustes sont appliqués dans une large mesure.

Les plantations d'arbres à haute tige sont aussi d'un usage courant le long des canaux. Elles ne sont pas sans présenter certains avantages : leur ombre adoucit la dureté du travail des haleurs ; leur présence atténue l'évaporation de l'eau résultant du vent et du soleil et le dessèchement des terres des digues provenant des mêmes causes. D'essences judicieusement choisies et soigneusement conduites, elles constituent un véritable ornement et sont susceptibles de donner un revenu important. Toutefois, elles doivent être proscrites sur les remblais qui supportent directement la pression de l'eau.

Digitized by Google

§ 2

DÉTERMINATION RATIONNELLE DE LA SECTION TRANSVERSALE

9. Observations sur les dimensions de la section transversale légale. — Pour assurer la circulation de bateaux de 5 mètres de largeur avec 1 m. 80 de tirant d'eau, la section transversale légale des canaux, en France, présente 2 mètres de mouillage et 10 mètres de largeur au plafond, c'est-à-dire : *juste la profondeur indispensable pour qu'un bateau à plein chargement n'échoue pas, juste la largeur indispensable pour que deux bateaux chargés puissent se croiser*. Ces conditions sont à coup sûr nécessaires, mais elles ne sont pas suffisantes et la meilleure preuve en est qu'au lendemain même de la loi du 5 août 1879, l'expérience a démontré que les dimensions ci-dessus devaient être majorées. Pour le mouillage, 2 m. 20 en pleine voie, 2 m. 50 sur les buscs des écluses sont aujourd'hui les chiffres courants ; quant à la largeur, on donne toute celle que les circonstances permettent de réaliser sans trop de frais.

C'est qu'en effet, il ne suffit pas que les bateaux puissent circuler, il faut encore qu'ils circulent *économiquement*, sans rencontrer des résistances trop coûteuses à vaincre ; les éléments d'une solution rationnelle ne peuvent donc se trouver que dans l'étude de la résistance au mouvement des bateaux sur les voies de dimensions limitées, comme les canaux.

10. Résistance propre des bateaux. Coefficient de résistance de la voie. — Il n'est pas sans intérêt de rappeler ici certaines définitions que nous avons déjà données ailleurs [1].

1. *Rivières à courant libre*, page 122.

Digitized by Google

Si on suppose un bateau flottant sur une nappe d'eau douce indéfinie dans tous les sens, la résistance totale au mouvement de ce bateau dépend d'éléments multiples, de ses dimensions, de ses formes, de la nature et de l'état de sa surface, de sa vitesse relativement à l'eau, mais tous ces éléments appartiennent en propre au bateau lui-même. Si, sur une autre nappe d'eau douce également indéfinie en tous sens, le même bateau se retrouve dans des conditions identiques, la résistance totale se retrouvera la même ; elle constitue, à vrai dire, la *résistance propre* du bateau.

Si, au contraire, ce bateau s'engage dans une voie navigable de dimensions limitées, comme un canal, la résistance au mouvement se modifie ; elle augmente, mais elle devient fonction à la fois d'éléments qui sont propres à l'embarcation et d'éléments qui dépendent de la voie particulière dans laquelle celle-ci se trouve. Pour apprécier les résultats constatés dans ce dernier cas, on est naturellement conduit à les comparer avec ceux obtenus en eau indéfinie, à considérer la résistance du bateau dans une voie de dimensions limitées comme égale à sa résistance propre multipliée par un coefficient supérieur à l'unité, qui mesure l'influence spéciale de la voie et constitue le *coefficient de résistance* de la dite voie.

Si on désigne ce coefficient par C, par R la résistance au mouvement d'un bateau sur la voie considérée et par r la résistance propre de ce bateau, on a :

$$R = Cr.$$

11. Variations du coefficient de résistance. — Le coefficient de résistance d'une voie donnée n'est rien moins que constant ; il varie avec une foule de circonstances.

C'est un fait bien connu, depuis longtemps, que la résistance à la traction augmente quand le rapport de la section mouillée Ω de la voie à la surface ω de la partie immergée du maître-couple du bateau diminue. Le rapport $\frac{\Omega}{\omega}$ est, suivant

Digitized by Google

la notation généralement adoptée, désigné par la lettre *n*.

Le coefficient de résistance croît aussi, rapidement, avec la vitesse.

Il varie également avec les formes et l'état de la surface des bateaux, avec la nature et l'état de la surface des parois de la voie navigable, etc.

12. Expériences faites en exécution de la décision ministérielle du 19 novembre 1889. — Les recherches que nous avons faites, pendant huit années consécutives (1890-1897), sur la résistance à la traction des bateaux de navigation intérieure, en exécution de la décision ministérielle du 19 novembre 1889, ont porté pour une bonne partie sur la traction dans les canaux. Nous nous bornerons à mentionner ici quelques-uns des résultats obtenus, sur les points qui nous intéressent spécialement, en renvoyant le lecteur qui serait désireux de plus amples détails soit à la première partie du Cours de navigation intérieure [1], soit à l'ouvrage publié sous le titre de *Recherches expérimentales sur le matériel de la batellerie* [2] ; nous rappellerons seulement que toutes nos expériences ont été faites par voie de remorquage direct.

La résistance propre des bateaux dépend, au premier chef, de leurs formes ; les formes les plus avantageuses pour la navigation sur une nappe d'eau indéfinie conservent-elles leurs avantages dans les voies navigables de dimensions limitées ? D'expériences que nous avons faites sur le canal de Bourgogne, il résulte qu'au point de vue de la résistance à la traction les différents types de bateaux conservent, dans les voies de dimensions restreintes, l'ordre dans lequel ils avaient été classés en eau indéfinie. Toutefois, les différences d'un type à l'autre sont moins accusées ; le bénéfice des formes est

1. *Rivières à courant libre*, pages 122 à 135.
2. Paris, imprimerie nationale, 1891-1897 ; en vente chez Ch. Béranger, Chaix et Cie, Vicq-Dunod et Cie, éditeurs.

Digitized by Google

moins grand dans les voies de dimensions restreintes ; le coefficient de résistance de la voie est d'autant plus grand que la résistance propre du bateau est plus faible, toutes choses égales d'ailleurs, bien entendu.

Un autre fait que confirment immédiatement toutes les expériences, c'est celui que nous avons signalé plus haut, à savoir que le coefficient de résistance, pour une même voie et un même bateau dont l'enfoncement reste constant, croît rapidement avec la vitesse. Voici, par exemple, les chiffres relevés avec la flûte[1] *Jeanne*, à l'enfoncement de 1 m. 30, dans le canal de la Cure :

Vitesse de	0 m. 25	par seconde,	C = 1,92
—	0 m. 50	—	— 2,13
—	0 m. 75	—	— 2,38
—	1 m. 00	—	— 2,75
—	1 m. 25	—	— 3,17

Afin de mettre en évidence l'influence du rapport n sur le coefficient de résistance C, de nombreuses expériences ont été faites avec la même flûte *Jeanne* sur plusieurs canaux de section différente, savoir :

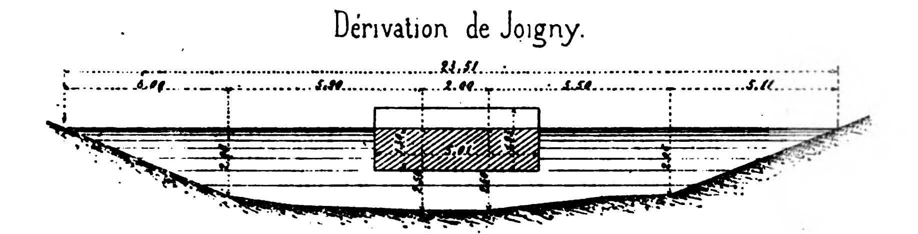
Dérivation de Joigny,	section mouillée moyenne,	41 mq 63
Canal de Bourgogne,	—	29 mq 53
Canal de la Cure,	—	23 mq 23
Canal du Nivernais,	—	19 mq 16

La planche II montre les sections moyennes respectives de ces quatre voies de navigation ; sur chacune d'elles est indiquée la section au maître-couple de la *Jeanne* à 1 m. 30 d'enfoncement. D'autre part la figure 3 (page 18) représente, pour des vitesses comprises entre 0 et 1 m. 25 par seconde, les courbes de résistance totale du bateau en Seine (résistance propre) et dans les quatre voies ci-dessus dénommées. Si nous considérons en particulier la vitesse de 0 m. 75 (2 kil. 7 à

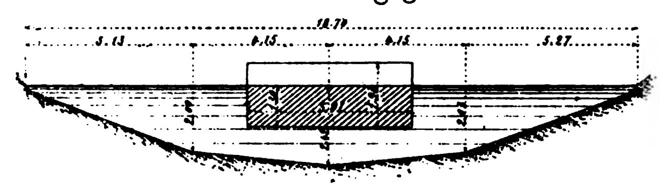
1. La flûte est un bateau à fond plat et à maitre-couple rectangulaire ; l'avant est ogival en plan, avec étrave un peu inclinée sur la verticale et léger relèvement du fond ; l'arrière présente aussi quelques formes ; le coefficient de déplacement est égal à 0,95.

Digitized by Google

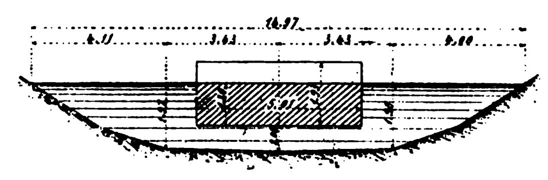
Dérivation de Joigny.



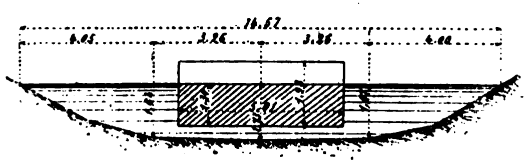
Canal de Bourgogne.



Canal de la Cure



Canal du Nivernais



Pl. II. SECTIONS TRANSVERSALES MOYENNES DE DIVERS CANAUX

Digitized by Google

l'heure), qui doit être considérée comme une limite qu'on ne saurait pratiquement dépasser dans nos canaux de France, nous relevons les chiffres suivants :

Dérivation de Joigny,	$n = 6,39$	$C = 1,38$
Canal de Bourgogne,	4,54	1,98
Canal de la Cure,	3,57	2,38
Canal du Nivernais,	2,94	3,82

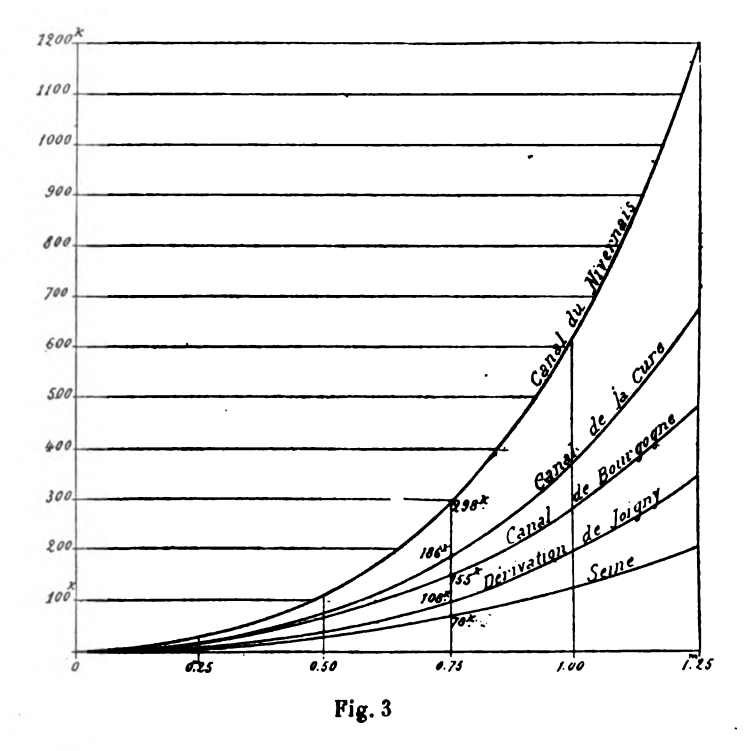


Fig. 3

La valeur de n décroissant dans le rapport de 2,17 à 1, le coefficient de résistance croît dans le rapport de 1 à 2,77. La constatation est topique, mais voici encore qui montre bien l'influence du rapport n.

La section transversale légale des canaux, en France, présente une surface mouillée de 26 mètres carrés; elle doit donner passage à des bateaux ayant 5 mètres de largeur au maître-couple et 1 m. 80 d'enfoncement. La surface de la portion

Digitized by Google

immergée du maître-couple est donc de 9 mètres carrés et le rapport des surfaces $n = \frac{26}{9} = 2,89$. Parmi les expériences faites, il s'en trouve une pour laquelle $n = 2,90$; à la vitesse de 0 m. 75 par seconde, le coefficient de résistance correspondant est de 3,67.

Supposons maintenant que la section transversale légale soit approfondie de 1 m., les dimensions et l'enfoncement des bateaux restant les mêmes, la surface mouillée du profil devient 34 m. 50 et le rapport n s'élève à $\frac{34,50}{9} = 3,83$. Parmi les expériences faites, il s'en trouve encore une pour laquelle $n = 3,82$; la valeur correspondante du coefficient de résistance, toujours pour la vitesse de 0 m. 75 par seconde, tombe à 1.95, soit à peu près à la moitié de celle qui correspondait à la section légale.

On est donc conduit à penser que l'augmentation de la surface mouillée du profil de nos canaux, résultant d'un approfondissement de 1 mètre, aurait pour conséquence de réduire de près de moitié, pour la vitesse très convenable de 0 m. 75 par seconde, la résistance à la traction des bateaux à l'enfoncement maximum qu'ils peuvent prendre aujourd'hui. Il ne s'agit ici, bien entendu, ni d'un raisonnement ni d'un calcul rigoureux, mais seulement d'une simple indication. Il faut reconnaître qu'elle est suggestive.

Plusieurs formules ont été données pour exprimer l'influence de n sur la résistance à la traction des bateaux. Nous citerons en première ligne celle de Du Buat, qui donne la résistance dans une voie de dimensions limitées, la résistance en eau indéfinie étant prise pour unité, c'est-à-dire précisément le coefficient de résistance de la voie,

$$C = \frac{8,46}{n+2} .$$

Mentionnons encore la formule de Sweet [1] (en unités métriques),

1. C'est en 1877 et 1878 que l'ingénieur américain E. Sweet Jr a fait,

$$R = \frac{5,4125 \, Sv^2}{n - 0,597},$$

dans laquelle R est la valeur absolue de la résistance, S la surface mouillée totale du bateau et v sa vitesse relative.

Ces formules n'ont d'autre valeur que celle d'un moyen mnémonique et ne peuvent être appliquées que dans les limites et les conditions mêmes dans lesquelles ont été faites les expériences dont on les a déduites. On ne saurait leur attribuer un caractère de généralité avec lequel leur forme est *a priori* incompatible.

En effet, il est *a priori* évident que n ne peut pas descendre au-dessous de l'unité. S'il atteignait seulement cette limite, si le maître-couple du bateau épousait exactement la section de la voie, le bateau serait complètement enlisé, la résistance serait infinie et aussi le coefficient de résistance. Si, au contraire, n tend vers l'infini, c'est généralement que l'on se rapproche des conditions dans lesquelles la résistance totale se réduit à la résistance propre du bateau; le coefficient C se réduit à l'unité. En résumé n variant de l'unité à l'infini, C variera de l'infini à l'unité. Or, les expressions mentionnées ci-dessus auraient des valeurs finies pour des valeurs de n égales et même inférieures à l'unité, et s'annuleraient si n devenait infini.

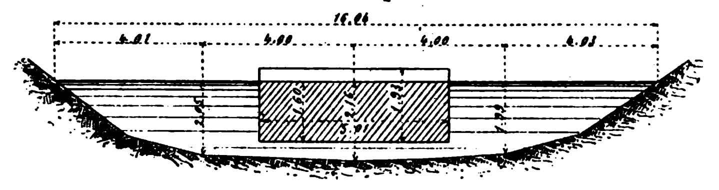
Les formules de Du Buat et de Sweet supposent implicitement que la résistance dans une voie de dimensions restreintes est indépendante de la forme du profil mouillé ou plus exactement de la relation qui existe entre la forme de ce profil et celle du maître-couple du bateau. Or c'est là une hypothèse

sur le canal Erié, des expériences sur la résistance à la traction des bateaux. Le but de ces expériences était essentiellement pratique; il s'agissait de déterminer les bénéfices que pourrait procurer, au point de vue de l'exploitation, une augmentation d'un pied dans le mouillage du canal. Pour résoudre la question, il était nécessaire de savoir comment la résistance à la traction varierait avec l'augmentation de la section mouillée du canal, conséquence de l'augmentation du mouillage ; et, pour le savoir, les intéressés jugèrent que des expériences directes étaient indispensables.

Digitized by Google

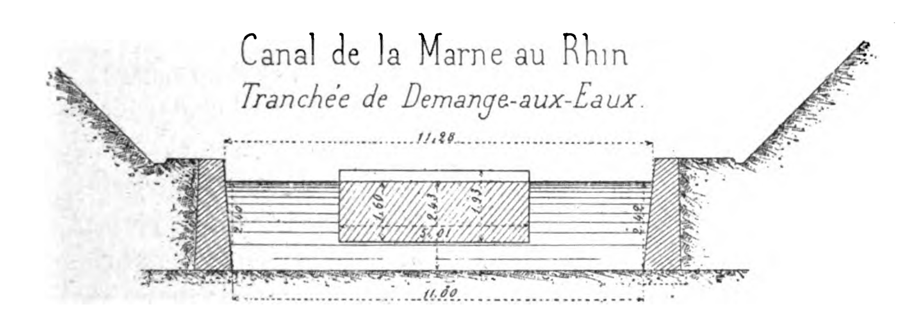
Canal de la Marne à la Saône

Bief de Jorquenay.

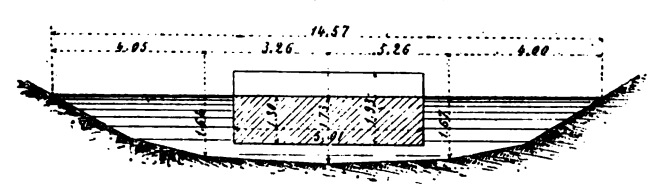


Canal de la Marne au Rhin

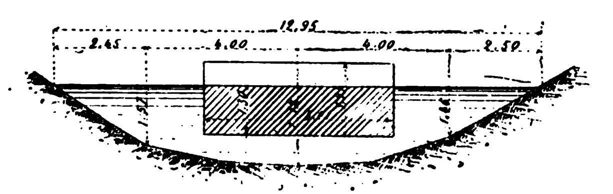
Tranchée de Demange-aux-Eaux.



Canal du Nivernais



Canal de St Dizier à Wassy



Pl. III. SECTIONS TRANSVERSALES DE DIVERS CANAUX

Digitized by Google

dont le raisonnement s'accommode mal *a priori* et dont l'expérience démontre l'inexactitude.

Voici quelques exemples de résultats obtenus, toujours avec la flûte *Jeanne*, dans des canaux dont les sections mouillées avaient même surface avec des formes différentes.

La planche III donne des sections transversales relevées dans le bief de Jorquenay du canal de la Marne à la Saône (profil trapézoïdal, Ω = 26 mq 94) et dans la tranchée de Demange-aux-Eaux du canal de la Marne au Rhin (profil rectangulaire, Ω = 26 mq 96). A l'enfoncement de 1 m. 60 et à la vitesse de 0 m. 75 par seconde, le coefficient de résistance a été trouvé de 3,15 pour l'un et de 2,36 seulement pour l'autre ; la réduction est de 25 pour cent.

A la vérité, on pourrait dire que la différence constatée provient de ce que, dans les deux cas, la nature et l'état des parois de la section mouillée n'étaient pas les mêmes, ces parois étant revêtues de maçonnerie dans la tranchée de Demange et ne l'étant pas dans le bief de Jorquenay ; mais voici un autre exemple qui échappe à cette objection.

La planche III donne encore les sections transversales relevées sur le canal du Nivernais et sur le canal de Saint-Dizier à Vassy. L'un et l'autre ont un profil trapézoïdal sans revêtements; la surface mouillée est exactement la même, 19 mq 16 pour le premier et 19 mq 15 pour le second ; seulement, sur le canal du Nivernais, le mouillage n'est que de 1 m. 70 tandis qu'il s'élève à 2 m. 06 pour le canal de Saint-Dizier à Vassy. Les coefficients de résistance de ce dernier accusent une réduction marquée qui, pour l'enfoncement de 1 m. 30 et la vitesse de 0 m. 75 par seconde, atteint 13 pour cent.

13. Premières conséquences. — Il semble qu'on peut maintenant se faire une idée des phénomènes dont résulte la résistance à la progression d'un bateau dans une voie de dimensions restreintes.

A mesure que le bateau se déplace, le volume d'eau corres-

Digitized by Google

pondant au déplacement doit s'écouler, de l'avant à l'arrière, par le canal à section rétrécie qui se trouve compris entre la coque et les parois de la voie navigable. Pour que l'eau animée de ce mouvement rétrograde puisse prendre la vitesse voulue, une charge est nécessaire ; elle résulte de ce double fait que l'eau se soulève à l'avant et se déprime à l'arrière du bateau. De cette dénivellation provient la résistance à la progression du bateau et, en même temps, de la dépression qui se produit à l'arrière il résulte que ce dernier s'abaisse et que le tirant d'eau du bateau en marche (par rapport au plan d'eau normal) est plus grand qu'au repos.

En somme, plus le passage de l'eau de l'avant à l'arrière du bateau pourra se faire aisément, moindre sera la résistance. Une première condition, essentielle, est donc que les modifications de section résultant du passage du bateau ne soient pas brusques ; qu'elles s'opèrent au moyen de surfaces courbes continues et suffisamment prolongées. Il n'est dès lors pas sans intérêt, tant s'en faut, que les bateaux qui circulent sur les canaux aient à leurs extrémités des formes convenables. La forme de *cuiller*, que nous avons préconisée [1] pour les extrémités des bateaux de navigation intérieure, est assurément satisfaisante à ce point de vue.

Il tombe sous le sens que l'effort de traction nécessaire augmente rapidement avec la vitesse du bateau.

Il augmente aussi rapidement avec l'importance de la réduction de la surface mouillée due au passage du bateau ; de là l'influence de la valeur du rapport n.

Pour que l'eau puisse passer avec la plus grande facilité possible dans le canal à section réduite qui se trouve compris entre la coque du bateau et les parois de la voie navigable, il importe que cette section ne présente nulle part d'étranglement ou de partie difficilement accessible à l'eau ; de là l'influence de la forme du profil en travers et notamment du mouillage.

1. *Rivières à courant libre,* page 131.

Digitized by Google

Enfin, l'effort de traction nécessaire est aussi influencé par la nature et l'état des parois de la voie navigable. Assurément le passage de l'eau, de l'avant à l'arrière du bateau, se fera bien plus facilement si les berges sont protégées par un revêtement complètement lisse que si elles sont couvertes d'une végétation plus ou moins touffue.

Certaines déductions s'imposent aussitôt.

Il faut reconnaître que la section légale des canaux, en France, n'est pas en rapport avec les dimensions transversales des bateaux en vue desquels ils sont établis. Pour les bateaux à pleine charge, la valeur de n tombe à $\frac{26}{9} = 2,89$, alors que pour avoir des coefficients de résistance modérés, c'est-à-dire une traction économique, l'expérience prouve que n devrait toujours rester au moins supérieur à 4.

La différence de 0 m. 20 seulement entre le mouillage et le tirant d'eau maximum des bateaux est, en particulier, beaucoup trop faible, surtout eu égard au phénomène signalé plus haut de l'augmentation du tirant d'eau en marche. Que de fois, en suivant un bateau dans un canal, n'avons-nous pas constaté que dans son sillage l'eau était fréquemment troublée par des vases en suspension. Ces vases étaient évidemment soulevées par suite de la vitesse excessive de l'eau dans l'espace trop restreint compris entre le fond du bateau et le plafond du canal. Au point de vue de la traction, les choses se passaient, à ce moment, comme si on avait ajouté au travail nécessaire pour assurer la progression du bateau le travail correspondant au labourage du fond du canal.

Enfin, il nous est difficile de ne pas critiquer la disposition qui consiste à ménager au niveau normal du plan d'eau des risbermes sur lesquelles on provoque le développement de la végétation (pages 3 et 4). Ces risbermes, dont la suppression n'entraînerait qu'une majoration insignifiante du cube total des terrassements, réduisent d'une façon très appréciable la surface mouillée de la section [1] et, par là

1. Dans un canal dont la section présenterait strictement les dimensions

Digitized by Google

même, ont déjà pour conséquence un supplément de résistance. Mais cette dernière s'accroît surtout de ce fait que la végétation dont les risbermes se couvrent met un sérieux obstacle aux mouvements de l'eau.

Les expériences faites en exécution de la décision ministérielle du 19 novembre 1889 permettent donc de formuler certaines conclusions très nettes et très importantes en ce qui concerne la section transversale à donner aux canaux.

Elles permettent encore, au moyen de rapprochements et de comparaisons, de calculer approximativement la valeur numérique du coefficient de résistance des voies établies dans certaines conditions.

Assurément elles ne suffisent pas pour laisser voir, si tant est qu'on y arrive, les relations précises qui peuvent exister entre les éléments ou quelques-uns du moins des éléments multiples dont dépend ce coefficient, à savoir : la résistance propre du bateau, sa vitesse, les dimensions de la section mouillée de la voie, la forme de cette section, la nature et l'état de la surface de ses parois.

14. Autres expériences. — Nous avons donné ci-dessus un aperçu sommaire des phénomènes qui se produisent lorsqu'un bateau est en marche dans une voie de dimensions restreintes, dans un canal. Ces phénomènes ont été étudiés en grand détail, avec un soin minutieux, lors des expériences sur la traction des bateaux faites en 1898 sur le canal de Dortmund à l'Ems, par ordre de M. le Ministre des travaux publics de Prusse, sous la direction de M. R. Haack. L'habile expérimentateur s'est surtout attaché à l'étude des mouvements de l'eau à l'avant, le long et à l'arrière du bateau. Il a particulièrement mis en relief le phénomène de l'abaissement du bateau et, par suite, l'augmen-

légales, avec risbermes de 0 m. 50, la suppression de ces dernières porterait la surface mouillée de 26 à 28 mètres carrés; l'augmentation serait d'environ 8 0/0.

Digitized by Google

tation du tirant d'eau en marche qui donne l'explication de nombre de faits mal compris jusqu'ici [1].

De nombreuses expériences seront sans doute encore nécessaires pour faire, dans la mesure du possible, une complète lumière sur ce problème si complexe de la résistance au mouvement des bateaux dans les canaux. Or la méthode que nous avons appliquée en France, que M. Haack a suivie sur le canal de Dortmund à l'Ems et qui consiste à étudier les phénomènes sur les bateaux et les canaux eux-mêmes, se prête mal à la multiplication des recherches. En effet ces *essais en grand* sont coûteux et forcément limités aux types de bateaux et de canaux existants. De là l'idée de faire des recherches avec des modèles à échelle réduite, suivant la méthode qui porte le nom de l'ingénieur anglais Froude et qui est d'une application courante, soit dans les marines militaires des différents Etats, soit dans les grandes compagnies de navigation maritime. Des tentatives très intéressantes ont été faites dans ce sens, notamment par M. le professeur Engels, de Dresde, dans le bassin d'essais de la compagnie de touage *Kette* à Uebigau et par M. Rota, ingénieur en chef du génie maritime italien, dans l'établissement de la marine militaire italienne, à la Spezzia. Les résultats de ces tentatives ont donné lieu à des rapports, des communications et des discussions aux Congrès internationaux de navigation de Bruxelles (1898), de Paris (1900), de Düsseldorf (1902). Mais avant d'aller plus loin, il est indispensable de rappeler en quelques mots en quoi consiste la méthode de Froude.

Supposons d'abord qu'il s'agisse de déterminer la résistance propre d'un bateau (résistance totale en eau indéfinie dans tous les sens) au moyen d'expériences faites sur un modèle du dit bateau ; soient :

s le rapport de similitude des dimensions homologues ;

1. *Schiffswiderstand und Schiffsbetrieb*, Berlin, 1899, A. Asher et Cie éditeurs. — *Die Einsenkung der schiffe und ihr einfluss auf die Bewegungen und den Widerstand der schiffe*, Berlin, 1901, A. Troschel éditeur.



v et v' les vitesses respectives du bateau et du modèle ;
r et r' leurs résistances totales correspondantes.
En vertu de la loi de similitude mécanique établie par Newton et appliquée aux navires de mer par Froude, si les valeurs de v et de v' sont choisies de telle sorte que

$$v = v' \sqrt{s}$$

les valeurs de r et de r' seront liées par la relation

$$r = r's^3.$$

Un exemple numérique rendra la chose plus claire. Supposons un modèle au seizième, c'est-à-dire $s = 16$; si on veut avoir la résistance totale du bateau à la vitesse de 2 mètres par seconde, il faudra déterminer celle du modèle à la vitesse de

$$0 \text{ m. } 50 = \frac{2}{\sqrt{16}}$$

et la multiplier par $4096 = 16^3$.

Cependant on a reconnu que ce mode de calcul donnait des valeurs exagérées pour la résistance totale du bateau. Comme on le sait, celle-ci se compose de deux éléments, la résistance de forme et la résistance de surface. Or si la résistance de forme du bateau et celle du modèle sont bien dans le rapport du cube de s, il n'en est pas de même de la résistance de surface. Une correction est nécessaire ; voici comment on y procède.

Au moyen d'une formule spéciale et de coefficients de frottement déterminés à l'avance, on calcule directement la résistance de surface du modèle ; on la multiplie par s^3 et on retranche le produit de la résistance totale du bateau donnée par l'expression $r = r's^3$; la différence représente la résistance de forme du bateau. En y ajoutant la résistance de surface du dit bateau, calculée par la même formule, on obtient la résistance totale exacte.

Pour faire la correction indiquée ci-dessus, il faut con-

Digitized by Google

naître, par rapport aux parois du bateau, la vitesse de l'eau dont on veut calculer le frottement. Si cette détermination est déjà délicate en eau indéfinie, quelles difficultés ne présentera-t-elle pas dans un canal où se passent les phénomènes complexes dont nous avons donné plus haut une analyse sommaire ? D'autre part, en eau indéfinie, la résistance ne dépend que d'éléments propres au bateau lui-même ; dans une voie à section restreinte elle dépend aussi d'éléments propres à la voie, notamment de la rugosité des parois. Quelle sera l'échelle des rugosités respectives du canal et du modèle de canal pour que cette dernière soit bien celle qui convienne? On voit à quelles difficultés extraordinaires se heurte l'emploi des modèles pour la détermination, en valeur absolue, de la résistance au mouvement des bateaux dans les canaux.

Il n'en est plus de même si on se borne à de simples comparaisons. Si dans un modèle de canal de section déterminée on expérimente divers modèles de bateaux, le bateau dont le modèle aura donné les meilleurs résultats donnera également les meilleurs résultats dans le canal lui-même ; cela paraît incontestable. Inversement, si pour un même modèle de bateau on fait varier la section transversale du modèle de canal, celle de ces sections qui aura été la plus favorable correspond bien à la section de canal qui avec le bateau lui-même sera la plus avantageuse. Nous estimons donc qu'on doit tenir pour parfaitement judicieuse et valable jusqu'à nouvel ordre la décision adoptée par le Congrès international de navigation tenu à Paris en 1900 sur cette question de la résistance au mouvement des bateaux, à savoir : « Il est nécessaire « de poursuivre les recherches et de les mener parallèlement « avec des bateaux en vraie grandeur et avec des modèles, « *les premières pouvant seules donner des valeurs absolues* « *exactes, les secondes permettant d'effectuer rapidement et à* « *moins de frais la comparaison entre les différents types* « *d'embarcations ou les différents profils des canaux* ».

Digitized by Google

15. Esquisse d'une méthode pour la détermination rationnelle de la section transversale. — Il était utile, croyons-nous, d'entrer dans les détails qui précèdent et de faire toucher du doigt les difficultés nombreuses auxquelles se heurte l'étude détaillée de la résistance au mouvement des bateaux dans les canaux. Supposons maintenant qu'elles aient été toutes résolues et qu'on ait multiplié les expériences autant qu'il peut être nécessaire. Les résultats en mains, pourrait-on aborder de front le problème de la détermination rationnelle du profil courant des canaux, tel qu'il a été posé dans une résolution adoptée par le Congrès international de navigation tenu à La Haye, en 1894, à savoir : *Déterminer le profil courant de canal qui permettra à un bateau dont les formes et les dimensions sont données de réaliser une vitesse voulue avec un effort de traction déterminé.* Nous croyons que la chose est possible ; voici même comment nous concevons qu'elle pourrait être réalisée.

Le véhicule, le bateau, est complètement défini ; il est donc facile de mesurer sa résistance propre ; reste à déterminer le profil de la voie, de façon qu'à la vitesse voulue son coefficient de résistance ne dépasse pas la limite résultant des données du problème.

En ce qui concerne la forme du profil, il y a lieu d'envisager successivement la forme rectangulaire et la forme trapézoïdale, chacune d'elles pouvant et devant être employée sur un même canal, suivant la nature du terrain ou les exigences des localités traversées.

Il est encore nécessaire que les idées soient fixées sur la nature et sur l'état des berges ou, plus exactement, sur le caractère des travaux de défense de ces berges aux environs de la ligne d'eau.

Finalement, les dimensions du profil resteraient seules en question. Pour être rigoureusement exact, on ne saurait considérer uniquement le rapport n de la section mouillée du canal à la surface de la partie immergée du maître-couple du

Digitized by Google

bateau, l'expérience ayant prouvé qu'à une même valeur de ce rapport peuvent correspondre des valeurs différentes du coefficient de résistance. Nous serions d'avis de considérer, à la place, deux variables : 1° le rapport λ de la largeur moyenne de la section mouillée du profil à la largeur du bateau au maître-couple ; 2° le rapport μ du mouillage au tirant d'eau. Il n'échappera pas que, pour les bateaux de navigation intérieure à maître-couple rectangulaire, le produit $\lambda\mu$ est précisément égal à n.

Soient λ_1 et μ_1 des valeurs particulières des deux variables définies ci-dessus et C_1 le coefficient de résistance correspondant déterminé expérimentalement ; ces trois quantités peuvent être considérées comme les cordonnées d'un point dans l'espace : $x = \lambda_1$, $y = \mu_1$, $z = C_1$.

Le lieu des points similaires sera une surface limitée à deux plans verticaux formant un angle droit et ayant respectivement pour traces, sur le plan horizontal, une parallèle à l'axe des x, $y = 1$, et une parallèle à l'axe des y, $x = 1$. En effet, l'un des deux rapports λ et μ ne peut se réduire à l'unité sans que le coefficient de résistance devienne infini. Si les points sont suffisamment nombreux et disséminés, il sera facile de définir la surface par ses courbes de niveau ; on pourra, notamment, tracer celle qui correspond à la limite de la valeur de C résultant des données du problème. On connaîtra ainsi toutes les combinaisons de λ et de μ qui en donnent la solution et on pourra, suivant les cas, adopter celle de ces combinaisons qui se conciliera le mieux avec d'autres conditions, la plus grande économie dans la construction, par exemple.

Nous n'attachons pas autrement d'importance à cette esquisse ; il suffit qu'elle laisse entrevoir la possibilité d'une solution au problème de la détermination rationnelle de la section transversale des canaux.

Mais le point capital, celui sur lequel on ne saurait trop appeler et retenir l'attention, c'est que les questions de navigation intérieure étant, avant tout, des questions indus-

Digitized by Google

trielles, toutes les solutions doivent tendre vers un but unique, l'abaissement du prix de revient des transports. Or les frais de traction constituent une partie importante de ce prix de revient, on doit donc s'attacher à les réduire et, à cet effet, à réduire autant que possible la résistance à la traction. En matière de canaux, notamment, on ne saurait espérer de progrès sérieux qu'à la condition d'avoir constamment pour objectif la réduction de la résistance que ces voies de dimensions restreintes opposent à la traction ou plus généralement au mouvement des bateaux. En conséquence, l'ingénieur chargé de préparer un projet de canal et, à cet effet, de déterminer les dimensions des ouvrages, devra, en attendant mieux, toujours se rendre compte des valeurs du rapport n qui pourront résulter du choix de ces dimensions.

16. Résistance dans les courbes. — Tout ce qui précède a trait à des bateaux qui suivent une route rectiligne ; il est évident, *a priori*, que dans les courbes la résistance au mouvement augmente.

Dans une note insérée aux *Annales des ponts et chaussées* (1881, 1er semestre), M. l'inspecteur général Flamant a cherché à déterminer par le calcul l'effort nécessaire pour mouvoir un bateau dans un canal courbe. Nous nous bornerons à reproduire ci-après les conclusions auxquelles il a été conduit en considérant un bateau mû par un propulseur à hélice, par exemple, ou en général par un moteur dont l'action s'exerce nécessairement suivant l'axe du bateau.

« L'effort nécessaire pour mouvoir un bateau avec une « vitesse donnée dans une courbe de 100 mètres de rayon « dépasse le double de celui qui produirait la même vitesse « dans un canal rectiligne ; tandis que si la courbe a 500 « mètres de rayon, cet effort ne doit être augmenté que de « 1/25 environ. »

« Lorsque l'effort de traction reste constant, la vitesse due « à ce même effort diminue dans les courbes. Si, pour un

Digitized by Google

« effort donné, la vitesse en ligne droite est égale à l'unité,
« elle ne sera plus que de 0,69 dans une courbe de 100 mètres de rayon, c'est-à-dire qu'elle sera diminuée de plus de
« 30 0/0. Elle n'est diminuée que de 2 0/0 dans une courbe
« de 500 mètres de rayon. »

M. Flamant ajoute qu'il serait intéressant de vérifier ces résultats par l'expérience. Cela est assurément désirable, mais on peut dès maintenant affirmer qu'il y a un sérieux intérêt à éviter les courbes de petit rayon dans la construction des canaux.

Digitized by Google

CHAPITRE II

TRACÉ

§ 1. *Canaux latéraux.* — § 2. *Canaux à point de partage*

§ 1

CANAUX LATÉRAUX

17. Définition. Exemples. — Nous avons exposé, dès le début de ce volume, comment, pour assurer à certaines vallées ou parties de vallées le bénéfice d'une voie navigable, il était parfois préférable d'abandonner le cours d'eau naturel et d'établir latéralement une voie entièrement artificielle, un canal composé d'une suite de biefs horizontaux séparés par des écluses. On pourrait dire aussi que le *canal latéral* n'est qu'une *dérivation* qui s'étend sur toute la longueur de la partie de rivière abandonnée.

Nous avons fait ressortir, en effet, dans un autre volume [1], que ce nom de dérivation s'applique à des solutions extrêmement différentes.

Ici, sur la basse Seine par exemple, le cours d'eau naturel n'est doublé d'un bras artificiel que sur la longueur strictement nécessaire pour contourner un barrage et faciliter la

1. *Rivières canalisées*, pages 445 et 446.

Digitized by Google

construction de l'écluse correspondante ; la navigation conserve intact son caractère de navigation fluviale.

Là, comme sur l'Yonne canalisée, les dérivations s'étendent, chacune, sur plusieurs kilomètres et forment, ensemble, une portion notable de la longueur de la voie navigable ; la navigation commence à prendre un caractère mixte.

Ailleurs, tel est le cas de la Meuse française, les dérivations deviennent tout à fait prépondérantes ; les emprunts à la rivière ne sont plus que l'exception et le caractère de la navigation se modifie en conséquence.

Encore un pas dans cette voie ; c'est le canal latéral.

Les exemples de canaux latéraux sont nombreux en France, nous mentionnerons seulement :

Le canal latéral à la Garonne, de Toulouse à Castets, long de 193 kilomètres ;

Le canal latéral à la Loire, dans lequel il est rationnel de comprendre le canal de Roanne à Digoin et qui commence alors à Roanne pour se terminer à Briare après un parcours total de 250 kilomètres ;

Le canal latéral à la Marne, de Vitry-le-François à Dizy, 67 kilomètres ;

Le canal latéral à l'Oise, de Chauny à Janville, long de 34 kilomètres.

18. Tracé en plan. — Dans le voisinage du cours d'eau qui en occupe le thalweg, le sol des vallées, des grandes vallées surtout, est ordinairement formé de gravier plus ou moins pur, perméable, dans lequel il serait difficile, à moins de grandes dépenses, de maintenir un canal à un niveau déterminé. L'invasion des eaux d'inondation y serait à redouter tant par-dessus les digues qu'à travers le sous-sol. La pente régulière de la vallée se prêterait mal à la création de biefs horizontaux qui devraient être fortement encaissés à l'amont et surélevés à l'aval, pour racheter la chute des écluses. Enfin chaque affluent viendrait heurter le canal presque à niveau et

Digitized by Google

l'écoulement naturel des eaux ne se concilierait que difficilement avec les exigences de la navigation.

On évite ces inconvénients en portant, le plus tôt possible, le tracé au pied de l'un des coteaux. Là, la terre végétale descendue des versants offre en général à la cuvette une assiette peu perméable. Le tracé se développe à la hauteur la plus convenable pour éviter à la fois les obstacles naturels, les inondations et les lieux habités. Quant aux affluents, ils peuvent être traversés en amont du confluent et au niveau que l'on aura choisi, ce qui facilite à la fois l'écoulement de leurs eaux et la construction des ouvrages qui l'assurent. On choisit, bien entendu, pour le suivre, celui des deux coteaux qui est le moins abrupt, qui présente le sol le plus favorable ou qui porte le moins d'habitations.

Si des centres importants à desservir se trouvent sur les rives mêmes du cours d'eau naturel, on y descend par des embranchements, qui, de distance en distance, relient la rivière à la voie artificielle. On met ainsi celle-ci à la portée du trafic local, sans qu'il soit besoin de recourir à des transbordements et à des transports par terre.

19. Étude technique. — L'étude se fait sur un plan coté. L'échelle la plus convenable à adopter pour les études de détail est celle de 1/1000 ; mais il importe d'avoir en outre sous les yeux un plan à plus petite échelle, au 1/10000 par exemple, qui seul peut permettre de se rendre compte de la direction générale.

Au moyen des cotes qui y sont inscrites, on trace les courbes de niveau sur le plan qui doit, d'ailleurs, indiquer la limite du champ des inondations, les cours d'eau rencontrés par le canal, les voies de communication de toute espèce, chemins de fer, routes, chemins vicinaux et, en général, tous les accidents de nature à influer sur la détermination du tracé.

Nous verrons plus loin que le nombre des biefs et le niveau de leurs retenues se trouveront souvent déterminés *a priori*

Digitized by Google

par les conditions multiples auxquelles le profil en long doit satisfaire.

Ceci posé, on détermine sur l'axe du profil en travers type du canal la cote du terrain naturel qui donne l'égalité des remblais et des déblais et, pour chaque bief, on trace la courbe de niveau correspondante ; on a ainsi une première ébauche du tracé. Ce n'est, à vrai dire, qu'une simple indication, mais elle est fort utile pour diriger l'étude et pour se rendre compte ensuite de la mesure dans laquelle on s'écartera du minimum des terrassements.

L'égalité des déblais et des remblais est, en effet, loin d'avoir ici la même importance qu'en matière de routes et de chemins de fer. Nous verrons par la suite combien, pour la navigation artificielle, les ressources en eau sont précieuses et trop souvent insuffisantes. La première condition à laquelle doit satisfaire un canal est de bien tenir l'eau. Les résultats des sondages faits en vue de déterminer la nature du terrain doivent donc avoir sur le tracé une influence prépondérante. Si l'on est au pied d'un coteau, par exemple, il faut s'attacher avec soin à éviter le déblai dans la pierre, qui non seulement coûte plus cher, mais qui encore est moins étanche que dans la terre. On doit sans hésiter sacrifier à la considération de l'étanchéité celle de l'égalité des déblais et des remblais.

20. Rencontre du cours d'eau principal. — Lorsqu'on étudie le tracé d'un canal latéral, il arrive souvent que l'on rencontre, sur la rive où l'on est placé, des points où le cours d'eau naturel vient s'appuyer au coteau et barre le passage au canal. Trois solutions peuvent alors être envisagées :

Descendre en rivière par une écluse et suivre le lit naturel sur un espace plus ou moins grand pour rentrer ensuite de nouveau en canal ;

Franchir la rivière sur un pont-canal pour changer de coteau;

Déplacer le cours d'eau, lui ouvrir un nouveau lit et placer le canal dans l'espace conquis sur l'ancien.

Digitized by Google

La première solution a le tort de rompre la continuité de la navigation en eau tranquille ; elle en change les conditions le plus souvent pour les empirer. Elle n'est acceptable qu'autant que d'autres considérations, telles que la traversée d'une ville ou la convenance de desservir les deux rives, justifient la rentrée en rivière, qui doit d'ailleurs toujours se faire en eaux relativement calmes, dans le remous d'un barrage.

La seconde est fort coûteuse ; elle exige en outre que le tracé soit à hauteur suffisante et barre la vallée, ce qui est une source de dépenses et de difficultés devant lesquelles on recule souvent.

La troisième est la plus habituellement adoptée, toutes les fois que l'obstacle n'est pas infranchissable. Le canal s'adosse alors au coteau, sa section et ses dépendances étant réduites au strict nécessaire comme largeur, et doit être défendu d'une manière énergique contre les attaques du cours d'eau qui tend toujours à reprendre son lit naturel. Il est à peine utile d'ajouter qu'on pratique, dans la berge convexe, un élargissement suffisant pour compenser l'emprise qui a été faite sur le

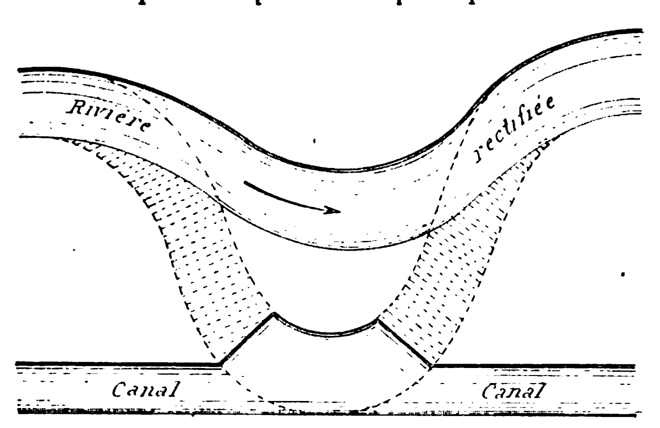


Fig. 4.

lit de la rivière, si cette emprise est de nature à gêner l'écoulement des crues.

En pareil cas, une disposition souvent usitée consiste à

Digitized by Google

englober le lit même de la rivière dans le canal et à reporter ce lit à côté (fig. 4). On évite ainsi la construction en rivière d'une digue longitudinale coûteuse, d'un entretien difficile et toujours exposée à des accidents. On y substitue deux petites portions de digues qui barrent transversalement le lit en amont et en aval, qui, par leur position même, se trouvent soustraites à l'action directe du courant et qu'on peut d'ailleurs renforcer autant qu'on veut au moyen des déblais en excès provenant du nouveau lit de la rivière.

Cette disposition crée en outre tout naturellement dans le canal des garages et des moyens de virement.

21. Contiguïté du canal et du chemin de fer — Voici encore, en ce qui concerne le tracé en plan, une observation dont il y a lieu de tenir compte lorsqu'un chemin de fer existe déjà dans la vallée où doit être établi le canal.

Dans ce cas, qui est celui de toutes les vallées industrielles, il y a un sérieux intérêt, lorsque les circonstances locales le permettent, à rapprocher les deux voies, sans les juxtaposer cependant, et à établir le canal parallèlement au chemin de fer à une distance de 100 ou 200 mètres, par exemple. La zone ainsi ménagée entre les deux est éminemment propre à la création d'établissements industriels qui, d'une part, peuvent se raccorder avec le chemin de fer et d'autre part, sont contigus à la voie d'eau. Les terrains qui se trouvaient dans cette situation le long des anciens canaux sont généralement depuis longtemps utilisés par l'industrie.

22. Profil en long. — Nous avons dit que le tracé du canal en plan devait se maintenir en dehors du champ des inondations, dans les terrains les plus favorables au point de vue de l'étanchéité de la cuvette. Ces conditions réagissent évidemment sur la détermination du profil en long.

A la rencontre des principaux affluents du cours d'eau latéral, des chemins de fer, des autres voies de communication

Digitized by Google

par terre les plus importantes, il est rare que la hauteur du passage ne soit pas commandée par les circonstantes ; autant de points obligés du profil longitudinal.

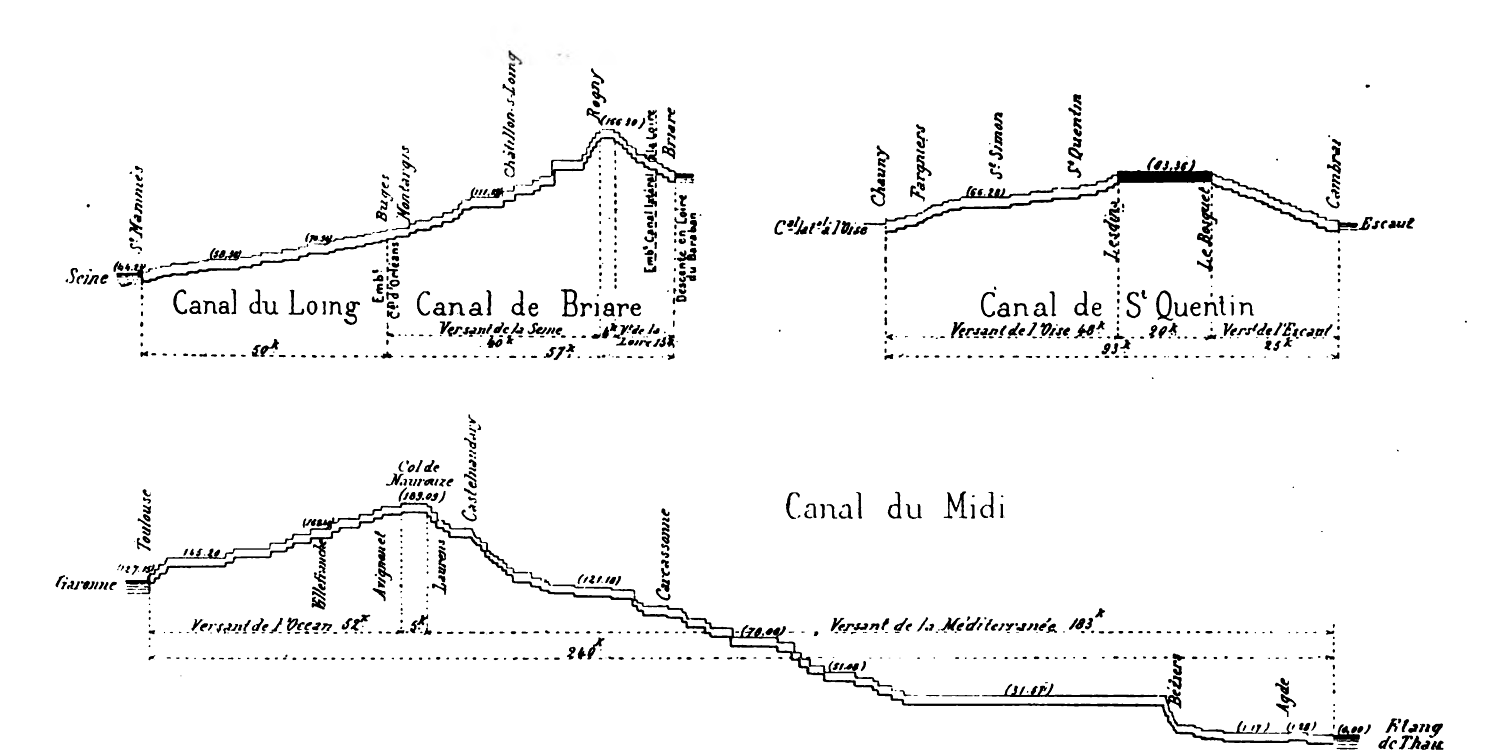
Il faut encore éviter les biefs trop courts, où le plan d'eau serait exposé à subir des changements de niveau trop prononcés par suite de l'afflux ou de l'emprunt du volume d'eau nécessaire pour le fonctionnement de l'écluse d'amont ou de l'écluse d'aval. Cet inconvénient peut, sans doute, être atténué par un élargissement de la cuvette et, à la rigueur, il suffit que cet élargissement soit effectué à la partie supérieure, sur la hauteur où peuvent se manifester les oscillations du plan d'eau. Mais, même en prenant cette précaution, il sera prudent de donner aux biefs courts un surcroît de profondeur, 2 m. 50 au lieu de 2 m. 20 par exemple, pour éviter que dans aucun cas le jeu des éclusées ne fasse descendre le mouillage au-dessous de ce qui est indispensable.

Enfin, il serait à désirer que toutes les écluses eussent la même hauteur de chute aussi bien que les mêmes dimensions en plan. Il en résulterait non seulement des simplifications et des économies dans le premier établissement, mais encore de sérieux avantages dans l'entretien. Toutes les portes d'amont étant pareilles ainsi que les portes d'aval, il suffirait d'avoir en magasin deux portes de rechange (une de chaque type) pour être à l'abri de toutes les éventualités qui peuvent menacer ces ouvrages ; on pourrait, sans danger, prolonger leur service jusqu'aux plus extrêmes limites ; on ne serait pas exposé à voir, comme cela ne se fait que trop aujourd'hui, remplacer des portes prématurément, au préjudice du Trésor.

A défaut de l'uniformité absolue qu'il peut être impossible de réaliser, on devra s'attacher à limiter autant que possible le nombre des hauteurs différentes de chute des écluses. C'est là un point sur lequel nous avons déjà appelé l'attention ailleurs [1].

1. *Rivières canalisées*, pages 467 et 468.

Digitized by Google



Pl. IV. PROFILS EN LONG DE CANAUX A POINT DE PARTAGE

Digitized by Google

Quoi qu'il en soit, on voit que ce ne sont pas les conditions qui manquent pour déterminer le profil en long d'un canal; le difficile est plutôt de le fixer de manière à satisfaire à toutes ces conditions.

§ 2

CANAUX A POINT DE PARTAGE

22 Définitions. Exemples. — Le *canal à point de partage* est celui qui réunit deux vallées en franchissant la ligne de faîte qui les sépare.

Les exemples de canaux à point de partage sont nombreux en France ; nous nous contenterons de citer :

Le canal de Briare [1], qui, se prolongeant par le canal du Loing, réunit la Loire à la Seine ; la longueur totale de la voie navigable entre Briare et Saint-Mammès est de 107 kilomètres (pl. IV) ;

Le canal du Midi, qui réunit les vallées de la Garonne et de l'Aude et dont la longueur, de Toulouse à l'étang de Thau, est de 240 kilomètres (pl. IV) ;

Le canal de Saint-Quentin, de l'Escaut à l'Oise, mesurant 93 kilomètres entre Cambrai et Chauny (pl. IV) ;

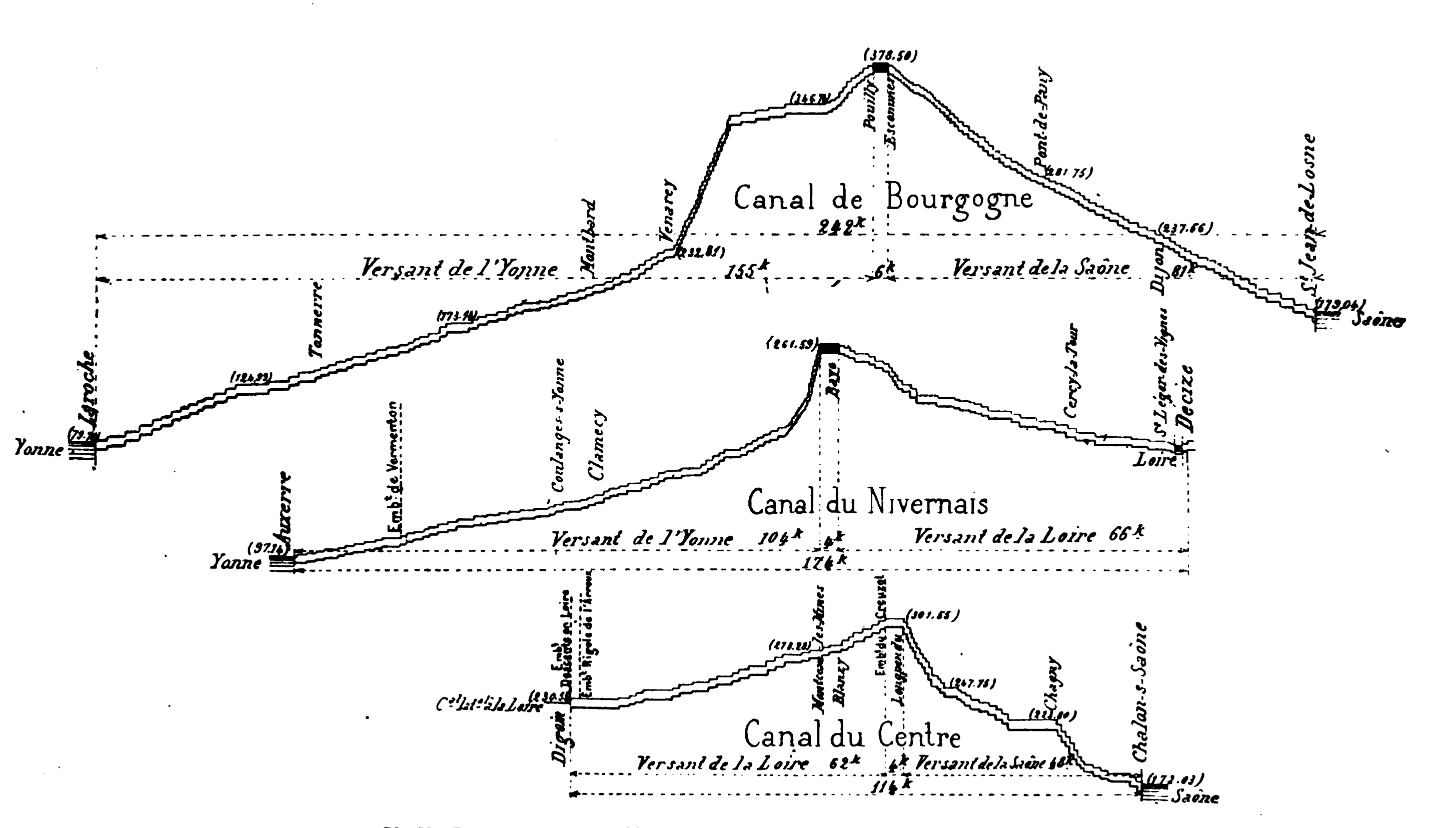
Le canal de Bourgogne, réunissant l'Yonne à la Saône et présentant de Laroche à Saint-Jean-de-Losne un parcours de 242 kilomètres (pl. V, page 42) ;

Le canal du Nivernais, entre la Loire et l'Yonne, avec un développement de 174 kilomètres de Saint-Léger-des-Vignes à Auxerre (pl. V) ;

Le canal du Centre, réunissant la Saône à la Loire et mesurant 114 kilomètres entre Chalon et Digoin (pl. V).

1. Ce canal, qui remonte à la première moitié du XVII[e] siècle, fournit le premier exemple connu de canal à point de partage (*Rivières à courant libre*, Introduction, pages 4 et 5).

Digitized by Google



Pl. V. PROFILS EN LONG DE CANAUX A POINT DE PARTAGE

Digitized by Google

Un canal à point de partage peut, en général, être considéré comme formé de trois sections dont les deux extrêmes ne sont, en réalité, que des canaux latéraux aux deux rivières qu'il réunit ou à des affluents importants de ces rivières. Dans la partie intermédiaire, le tracé se détache d'un des canaux latéraux, s'élève en suivant quelque vallée secondaire, s'établit horizontalement à la hauteur où il est possible d'ouvrir un bief unique traversant de part en part le massif qui sépare les deux vallées principales, et redescend, également par une vallée secondaire, jusqu'à l'autre canal latéral.

C'est ainsi que le canal de Briare est, à une de ses extrémités, latéral à la Trézée, affluent de la Loire, et à l'autre latéral au Loing, affluent de la Seine.

Le canal de Bourgogne est, à une de ses extrémités, latéral à l'Armançon, affluent de l'Yonne, et à l'autre latéral à l'Ouche, affluent de la Saône.

Le canal du Nivernais est, à une extrémité, latéral à l'Aron, affluent de la Loire, et à l'autre latéral à l'Yonne.

Dans les canaux à point de partage on distingue, d'habitude, le bief de partage et les deux versants. Chacun de ces derniers porte le nom de la rivière qu'il suit dans sa partie inférieure ou de la rivière plus importante dans laquelle se jette cette dernière, ou encore de la mer où ses eaux vont aboutir en dernière lieu.

Sur le canal de Briare on distingue les versants de la Loire et de la Seine ; sur le canal de Bourgogne, les versants de l'Yonne (ou de la Seine) et de la Saône ; sur les canaux du Midi et du Centre, les versants de l'Océan et de la Méditerranée.

Souvent aussi on adopte sur chaque versant, pour les écluses, un numérotage spécial partant du bief de partage, si bien que chacune des écluses qui termine ce bief porte le n° 1 de la série du versant correspondant.

24. Tracé sur les versants. — Dans la partie inférieure

Digitized by Google

de chaque versant le canal à point de partage n'est qu'un canal latéral ordinaire ; pour cette partie du tracé, il n'y a rien à ajouter à ce qui a été dit plus haut. Dans la partie supérieure, le tracé emprunte généralement des vallées secondaires à forte pente ; il devient impossible d'éviter les biefs courts dont nous avons signalé les inconvénients (page 39) : tout ce qu'on peut faire est de chercher à atténuer ces inconvénients autant que possible.

Dans cet ordre d'idées, il peut être intéressant de signaler la solution qui a été adoptée à la traversée des Vosges par le canal de l'Est, dans une partie où les écluses sont à peine à 300 ou même 200 mètres de distance. On s'est borné à barrer transversalement, aux points voulus, l'étroit vallon suivi par le canal, de manière à créer une série d'étangs successifs dans lesquels les oscillations produites par le jeu des éclusées n'amènent que des variations de hauteur peu sensibles. On a en même temps réalisé une économie assez importante sur les terrassements. Quant à l'écoulement des eaux des coteaux, il est assuré par des contrefossés qui règnent de chaque côté du canal ou au moins d'un côté.

25. Bief de partage. — La question capitale dans l'étude d'un canal à point de partage est le choix de l'emplacement du bief de partage, le choix du col le plus avantageux pour franchir la ligne de faîte. Aux abords des lignes de faîte, la population est clairsemée d'ordinaire ; on n'y rencontre guère de centres industriels de quelque importance ; les considérations commerciales n'interviennent donc que bien rarement dans ce choix ; les considérations techniques sont tout à fait prépondérantes.

Une première considération est celle de l'altitude ; il y a un intérêt évident à réduire autant que possible la hauteur dont les bateaux sont obligés de s'élever sans profit, montant sur un versant pour redescendre sur l'autre. D'autre part, au fur et à mesure que l'altitude augmente, la rigueur du climat en

Digitized by Google

hiver s'accentue d'une façon générale, les interruptions de la navigation par la gelée se multiplient, la durée de ces interruptions s'accroît.

Mais la considération la plus importante est celle de la possibilité de recueillir aux abords du col en question, à un niveau supérieur à celui du bief de partage, les quantités d'eau nécessaires à l'alimentation de ce bief. C'est un point sur lequel nous aurons souvent à revenir par la suite, mais dont l'évidence s'impose *a priori*, que la première condition pour un canal est d'être sûrement et abondamment pourvu d'eau. Au bief de partage les besoins sont plus grands qu'ailleurs, puisque c'est lui qui alimente les deux versants, au moins dans leur partie supérieure.

En général, les deux conditions sont remplies simultanément ; le plus souvent les plus fortes dépressions de la chaîne sont celles où l'on peut le plus facilement accumuler les eaux ; le col à la moindre altitude est aussi celui qui donne les plus grandes facilités d'alimentation. Cependant il n'en est pas toujours ainsi. Pour établir une jonction entre la Loire et la Seine, par exemple, si au lieu de suivre la vallée du Loing on avait suivi celle de l'Essones, autre affluent de la Seine, on aurait eu à franchir un col moins élevé, mais on n'aurait eu ni la possibilité de dériver une part importante du débit du Loing, ni la disposition des eaux accumulées dans des étangs mesurant ensemble plus de 480 hectares ; les moyens d'alimentation auraient fait défaut. On doit penser que c'est cette raison qui a fait préférer la direction suivie par le canal de Briare.

L'établissement du bief de partage entraîne, dans tous les cas, des dépenses considérables, tant à raison de l'importance des tranchées à ouvrir que de la nature des terrains traversés ; mais ces dépenses sont encore singulièrement majorées quand le passage du col exige la construction d'un ou quelquefois de plusieurs souterrains. L'éventualité de cette construction introduit donc dans l'étude de nouvelles complications, de nouvelles difficultés.

Digitized by Google

26. Tranchée ou souterrain. — Sur les profils en long de canaux à point de partage figurés dans les planches IV et V (pages 40 et 42) le bief de partage est teinté en noir lorsqu'il comporte un ou plusieurs souterrains. C'est le cas du canal de Saint-Quentin (deux souterrains, l'un de 5.670 mètres, l'autre de 1.098 mètres de longueur), du canal de Bourgogne (un souterrain, long de 3.330 mètres), du canal du Nivernais (trois souterrains, mesurant respectivement 758, 268 et 262 mètres de longueur). Au contraire, les canaux de Briare, du Midi et du Centre ont pu être établis sans autre ouvrage de grande sujétion, pour franchir la ligne de faîte, qu'une tranchée plus ou moins profonde.

Dans les pays où les travaux topographiques ont été très développés et où l'ingénieur a à sa disposition tous les documents nécessaires pour se rendre exactement compte du relief du sol, l'étude des cartes suffit pour reconnaître les cas où le passage en souterrain est indispensable et ceux où il peut être évité. Pour les autres contrées, il n'est peut-être pas inutile de connaître les règles qui ont été formulées jadis, par l'éminent ingénieur Brisson, à une époque où l'on ne disposait pas des mêmes ressources qu'aujourd'hui pour les études de cabinet.

D'après cet ingénieur, les dépressions du sol qui permettent de passer, dans les meilleurs conditions, d'un bassin à un autre contigu, se rencontrent d'habitude (fig. 5) :

1° Lorsque deux thalwegs secondaires partent des deux versants opposés d'une même chaîne de montagne en deux points très rapprochés ;

Fig. 5.

2° Lorsque deux thalwegs prin-

Digitized by Google

cipaux, jusque-là parallèles, ayant leurs pentes dans le même sens, divergent brusquement dans des directions opposées ;

3° Quand deux thalwegs principaux parallèles ont leurs pentes en sens inverses.

Le premier cas conduit presque toujours à un souterrain, tandis que des tranchées suffisent généralement dans les deux autres ; le troisième correspond, toutes choses égales d'ailleurs, au plus large approvisionnement d'eau.

Quelques exemples feront mieux comprendre la valeur des règles énoncées ci-dessus.

Au canal de Saint-Quentin, qui réunit à leurs sources la Somme et l'Escaut partant en sens contraires d'un même massif, il y a un souterrain au bief de partage ; il en est de même au canal de Bourgogne qui réunit les sources de l'Armançon et de l'Ouche situées sur les deux versants opposés d'une même chaîne de montagnes.

Au contraire, le canal du Midi passant de la vallée de la Garonne dans celle de l'Aude au point où ces deux rivières, coulant jusque-là parallèlement dans le même sens, viennent à diverger brusquement, le col de Naurouze a pu être franchi au moyen d'une simple tranchée. De même, une tranchée a suffi pour faire passer le canal de Briare de la vallée de la Loire dans celle du Loing au point où ces deux cours d'eau, d'abord parallèles et coulant dans le même sens, divergent brusquement.

Enfin le canal du Centre, établi entre la Saône et la Loire, qui, dans cette partie de leurs cours, coulent parallèlement mais en sens contraires, est un exemple du troisième cas.

27. Souterrains des biefs de partage. — On est souvent obligé de donner à ces ouvrages des longueurs considérables. Pendant longtemps, le grand souterrain du canal de Saint-Quentin a été, parmi les souterrains de dimensions similaires, le plus long que l'on connut. On conçoit que pour éviter des dépenses excessives on se soit appliqué à réduire

Digitized by Google

autant que possible leur section transversale, ce qui a conduit à l'adoption des dispositions suivantes :

Ouverture de la cuvette pour une seule voie de bateau, sauf à réglementer le passage qui, pendant des périodes alternatives plus ou moins longues, se fait exclusivement dans un sens ou dans l'autre ;

Etablissement d'une seule banquette de halage, bien suffisante d'ailleurs puisqu'il ne peut pas y avoir de croisements ;

Réduction des dimensions de cette banquette au plus strict minimum, c'est-à-dire à 1 m. 40 de largeur, la hauteur libre sous voûte restant de 3 mètres, ou plus, sur 1 mètre au moins de largeur à partir du bord de la cuvette.

En fait, la section transversale des souterrains des biefs de partage de nos canaux ne diffère pas sensiblement de celle des souterrains pour chemins de fer à deux voies. Ces derniers doivent avoir 8 mètres de large au niveau des rails, d'où un diamètre de voûte de 8 mètres à 8 m. 70, selon que les piédroits sont verticaux ou présentent un fruit plus ou moins prononcé ; l'ouverture aux naissances des souterrains des biefs de partage est généralement de 8 mètres. Ce n'est, à coup sûr, qu'une simple coïncidence, mais elle permet aux ingénieurs de canaux de profiter, le cas échéant, de toute l'expérience acquise dans la construction des chemins de fer, construction qui a comporté et comporte toujours l'établissement d'un très grand nombre de souterrains.

Aussi renverrons-nous, pour tout ce qui concerne l'exécution de ces ouvrages, au cours de *Chemins de fer* ou au cours de *Procédés généraux de construction* [1]. Nous ne nous occuperons ici que de l'appropriation du gabarit aux besoins de la navigation et, à cet effet, nous donnerons la description de ce gabarit, pour quelques ouvrages existants.

Tel qu'il se comporte aujourd'hui, après plusieurs remaniements successifs, le profil transversal du *grand souterrain du*

1. Voir dans l'*Encyclopédie des travaux publics* les ouvrages de MM. Bricka et de Préaudeau.

Digitized by Google

canal de Saint-Quentin[1] (pl. VI, page 50) présente une voûte de 8 mètres de diamètre avec piédroits verticaux de 4 mètres de hauteur. La cuvette, dont le plafond est horizontal, a 6 m. 60 de largeur ; la banquette de halage, large de 1 m. 40, est soutenue par un mur vertical en maçonnerie.

La profondeur d'eau étant de 2 m. 60, la surface mouillée de la cuvette, Ω, est de 17 mq 16 et le rapport de cette surface à celle de la partie immergée du maître-couple, ω, pour des bateaux mesurant 5 mètres de large avec 1 m. 80 d'enfoncement, le rapport *n* est de 1,91. Depuis longtemps, la traction des bateaux au passage de ce souterrain est assurée par des moyens mécaniques installés et exploités par l'Etat.

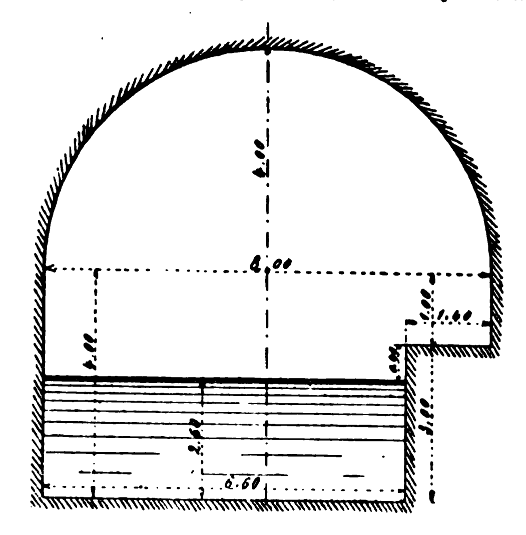
Au point de vue de l'exploitation, les piédroits verticaux présentent un assez sérieux avantage sur les piédroits avec fruit. Dans ce dernier cas, si les bateaux frottent contre les parois de la cuvette, le frottement se produit sous l'eau, sur l'angle vif que forment à leur rencontre le bordage et la fonçure, c'est-à-dire en un point assez délicat. Dans le premier cas, au contraire, c'est le plat-bord qui porte, au-dessus de l'eau ; s'il se produit quelques avaries, elles sont aisées à réparer ; on peut même les prévenir facilement en armant le bateau, vers la flottaison, de défenses en cordes qui amortissent les chocs et les rendent inoffensifs.

Le *souterrain de Mauvages*, ouvert de 1841 à 1846, est établi sur le bief de partage du canal de la Marne au Rhin qui réunit les deux versants de la Marne et de la Meuse. Sa longueur est de 4.877 mètres ; la voûte, en plein cintre, a 7 m. 80 de diamètre. Il a été l'objet d'importants travaux de consolidation et d'élargissement, qui se sont poursuivis pendant de longues années, et à la suite desquels il présente, suivant les points considérés, deux profils transversaux différents figurés dans la planche VII (page 51).

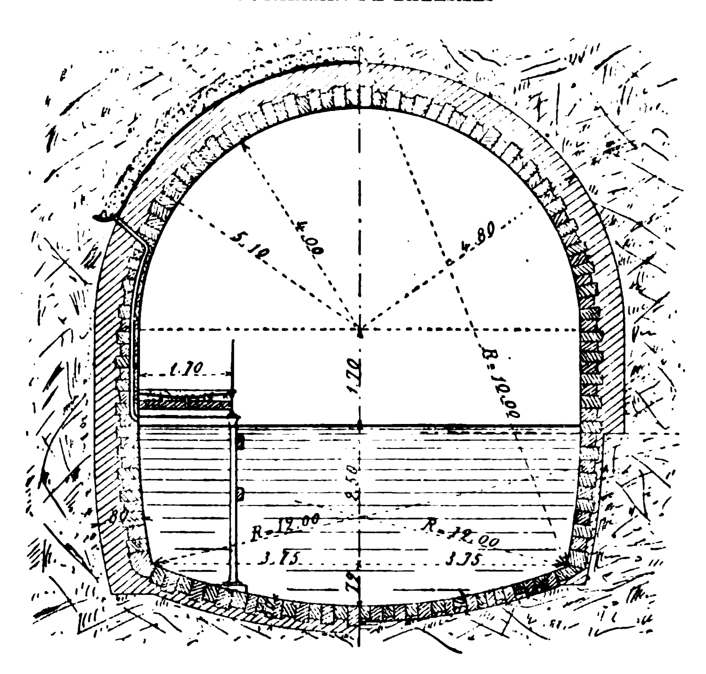
1. Ainsi que nous l'avons dit plus haut (page 46), la longueur de ce souterrain est de 5.670 mètres ; il a été entrepris dans les premières années du XIXe siècle et terminé vers 1810.

Digitized by Google

GRAND SOUTERRAIN DU CANAL DE SAINT-QUENTIN



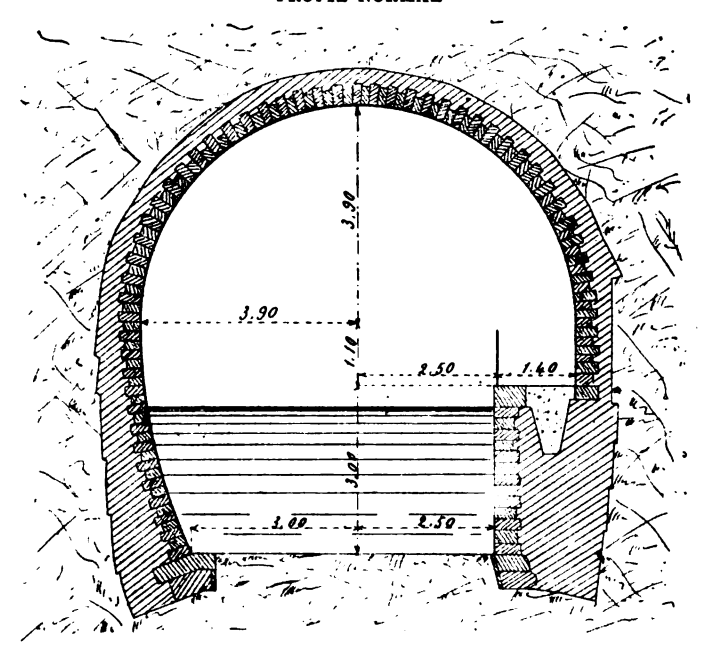
SOUTERRAIN DE BALESMES



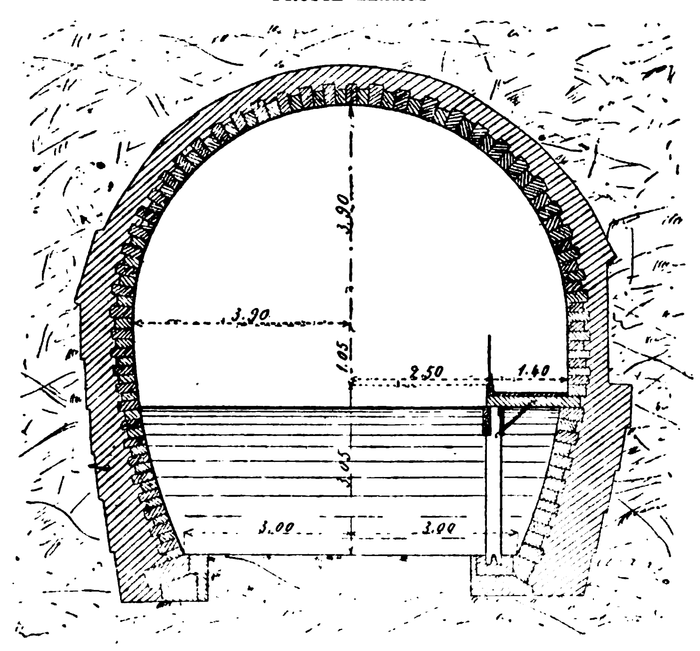
Pl. VI. PROFILS TRANSVERSAUX DE SOUTERRAINS DE BIEFS DE PARTAGE

Digitized by Google

PROFIL NORMAL



PROFIL ÉLARGI



N. B. Le mouillage est de 2 m. 60 et la demi-largeur de la cuvette au plan d'eau de 3 m. 70.

Pl. VII. PROFILS TRANSVERSAUX DU SOUTERRAIN DE MAUVAGES

Digitized by Google

Le profil normal, appliqué sur la plus grande partie de la longueur, comporte une banquette de halage de 1 m. 40 de largeur soutenue par un mur vertical en maçonnerie. La profondeur d'eau est de 2 m. 60 ; la largeur de la cuvette est de 5 m. 50 au plafond et de 6 m. 28 au plan d'eau ; la surface mouillée est de 15 mq 49 ; le rapport *n* tombe à 1,72 pour les bateaux de 5 mètres de large à 1 m. 80 d'enfoncement.

Sur deux parties, de 600 mètres de longueur chacune, prises au tiers et aux deux tiers de la longueur du souterrain, la cuvette a été élargie en établissant le chemin de halage sur estacade. L'estacade est composée de poteaux en bois verticaux, dont le pied est encastré dans le plafond et dont la tête est maintenue par un cours de moises longitudinales. Des traverses en bois rattachent cette charpente au piédroit du souterrain et reçoivent un tablier également en bois, sur lequel est établi le chemin de halage. Des glissières en bois relient les poteaux montants dans leur partie supérieure, de manière à guider les bateaux et à prévenir les chocs.

Dans les parties élargies, la surface mouillée s'élève à 17 mq 87 et le rapport *n* à 1,99. Bien qu'elles ne représentent qu'un quart de la longueur totale du souterrain, elles ont singulièrement amélioré la situation, en permettant l'épanouissement du flot soulevé à l'avant des convois de bateaux qui circulent alternativement dans un sens et dans l'autre. La traction de ces convois se fait mécaniquement au moyen d'un service de touage à vapeur organisé par l'administration au cours des années 1880 à 1884.

Le *souterrain de Balesmes*, commencé en 1879 et terminé en 1885, est établi sur le bief de partage du canal de la Marne à la Saône ; sa longueur est de 4.820 m. 45 ; la voûte, en plein cintre, a 8 mètres de diamètre (pl. VI).

Pour éviter de réduire la section mouillée, le chemin de halage, dans toute sa longueur, a été, comme dans les parties élargies du souterrain de Mauvages, établi sur estacade ; mais ici l'estacade est métallique. Large de 1 m. 70, le che-

Digitized by Google

min est établi sur des voûtes en briques portées par des entretoises scellées dans la maçonnerie à une de leurs extrémités et appuyées, à leur autre extrémité, sur une poutre longitudinale soutenue par des colonnes en fonte espacées de 7 mètres. Dans l'intervalle des colonnes, trois fers à ⊔ verticaux supportent deux cours de guide-bateaux horizontaux en bois de chêne.

La largeur de la cuvette est de 8 mètres au plan d'eau et de 7 m. 50 au plafond. Le radier présentant une flèche de 0 m. 72, la profondeur d'eau qui est de 2 m. 50 sur les côtés atteint 3 m. 22 sur l'axe. La section mouillée est de 23 mq. 20 ; le rapport n s'élève donc à 2,58 pour les bateaux de 5 mètres de large à 1 m. 80 d'enfoncement.

Le type du souterrain de Balesmes[1] est assurément à recommander, notamment au point de vue des facilités qu'il donne pour l'exploitation. Comme il est de construction récente et qu'il n'a subi aucune transformation, il peut être intéressant de donner son prix de revient. La dépense totale, tout compris, s'est élevée à 12.003.141 fr. 44. Le prix par mètre courant ressort à 2.490 fr. 05 dont 95 fr. 15 pour la passerelle métallique de halage.

Le lecteur n'aura pas manqué d'être frappé de l'importance du mouillage dans les différents souterrains que nous venons de passer en revue : 2 m. 60 au souterrain du canal de Saint-Quentin et au souterrain de Mauvages, 2 m. 50 à 3 m. 22 au souterrain de Balesmes ; c'est un fait général dans les biefs de partage. L'élévation du mouillage dans ces biefs permet de ne pas réduire outre mesure la section mouillée dans les passages rétrécis. D'autre part elle atténue les inconvénients des

1. Le lecteur désireux d'avoir plus de détails sur cet intéressant ouvrage les trouvera dans un mémoire de M. l'ingénieur en chef des Ponts et Chaussées Gustave Cadart sur le canal de la Marne à la Saône, mémoire inséré aux *Annales des Ponts et Chaussées* (1899, 4e trimestre).

Le profil de la planche VI reproduit un dessin qui a figuré à l'Exposition Universelle de 1900 et sur lequel certaines cotes citées dans le mémoire ont été arrondies.

Digitized by Google

abaissements du plan d'eau, plus fréquents et plus considérables dans les biefs de partage que partout ailleurs, soit à raison de l'importance des filtrations dans les rochers fissurés où ils sont souvent ouverts, soit à raison des émissions d'eau par les deux écluses extrêmes.

28. Résistance à la traction dans les souterrains des biefs de partage. — Dans ces longs souterrains à voie unique, la résistance à la traction prend une importance exceptionnelle qui, dans nombre de cas, a justifié l'installation et l'exploitation par l'Etat de moyens de traction mécaniques: Les bateaux passent alternativement dans un sens et dans l'autre, réunis en convois dont la longueur est considérable sur les canaux à grand trafic. C'est ainsi qu'au bief de partage du canal de Saint-Quentin, on a pu voir des convois comprenant jusqu'à 35 bateaux et présentant un développement total de 1800 mètres. Le refoulement de l'eau produit par la marche d'un semblable convoi détermine une dénivellation importante qui met obstacle à sa marche en même temps qu'elle réduit la profondeur d'une façon dangereuse pour les bateaux placés à la queue. Aussi est-on obligé, quelle que soit la puissance des moyens de traction employés, de réduire beaucoup la vitesse et même parfois d'arrêter le convoi pour laisser l'eau reprendre son niveau à l'avant et à l'arrière.

M. l'inspecteur général des Ponts et Chaussées Bazin a fait, sur la résistance à la traction des bateaux dans le souterrain de Pouilly, au bief de partage du canal de Bourgogne, des expérience dont il a été rendu compte dans les *Annales des Ponts et Chaussées* (1868, 2[e] semestre). Bien qu'elles soient un peu anciennes, elles méritent d'être mentionnées.

Il s'agissait alors de bateaux longs de 30 mètres, larges de 5 mètres, avec un tirant d'eau maximum de 1 m. 40. C'est généralement avec des bateaux du type *Flûte* que les expériences ont été faites. La vitesse moyenne, dont les vitesses effectives ne se sont notablement écartées que tout à fait excep-

tionnellement, a été de 0 m. 76 par seconde. Pendant la durée des expériences la profondeur d'eau n'a varié que de 2 m. 30 à 2 m. 35 ; la largeur de la cuvette, de 5 m. 70 au plafond, a été de 6 m. 20 environ à la ligne d'eau ; on peut donc tabler sur une surface mouillée de 13 mq 83 et sur une valeur de 1,98 pour le rapport n en supposant les bateaux à l'enfoncement maximum de 1 m. 40.

Dans ces conditions, M. Bazin a trouvé que l'effort de traction était représenté avec une approximation suffisante par la formule

$$E = 1.200 \ V^2,$$

quand il s'agissait d'un seul bateau. Dans le cas de plusieurs bateaux remorqués en convoi, le premier bateau seul offrait la résistance indiquée ci-dessus ; ceux qui le suivaient n'avaient besoin que d'un effort de traction moitié moindre, si bien que pour l'ensemble du convoi comprenant m bateaux, on pouvait appliquer la formule

$$E_m = 600 \ (m + 1) \ V^2.$$

En définitive, l'effort nécessaire pour assurer, dans le souterrain de Pouilly, à la vitesse de 0 m. 76 par seconde, la traction d'une flûte longue de 30 mètres et large de 5, au tirant d'eau de 1 m. 48, a été trouvé de 693 kilogrammes environ, la valeur de n étant de 1,98. Il n'est pas sans intérêt de comparer ces chiffres à ceux que nous avons relevés lors de nos expériences avec la flûte *Jeanne* dans la tranchée de Balesmes dont les parois muraillées sont tout à fait comparables aux piédroits du souterrain de Pouilly. On peut, sans crainte d'erreur sensible, prendre pour terme de comparaison les résultats obtenus à la vitesse de 0 m. 75 par seconde (au lieu de 0 m. 76) ; à la vérité, les efforts de traction n'ont été relevés que pour les enfoncements de 1 m. 30 et 1 m. 60, mais, en procédant par interpolation, on en déduit avec une approximation suffisante l'effort correspondant à l'enfoncement de 1 m. 40 ; il serait de 281 kilogrammes environ, pour une valeur de n de 2,74.

Digitized by Google

Ainsi, la valeur de n passant de 2,74 à 1,98, l'effort de traction nécessaire s'élève de 281 à 693 kilogrammes; il est beaucoup plus que doublé. Si on considère que la résistance propre de la flûte à la vitesse de 0 m. 75 et à l'enfoncement de 1 m. 40 peut être évaluée à 81 kilogrammes environ, on trouve que le coefficient de résistance de la voie s'élève de 3,47 dans le premier cas à 8,56 dans le second.

Le fait que, dans un convoi, l'effort de traction pour chacun des bateaux suivant le premier était beaucoup moindre que pour celui-ci, est également digne de remarque. Si on observe que dans l'espèce *les bateaux étaient attachés aussi près que possible les uns des autres*, on y trouve la confirmation de ce que nous avons dit ailleurs sur les avantages de ce mode d'attelage, même en rivière[1].

29. Souterrains à deux voies de bateau. — Les longs souterrains des biefs de partage imposent à la batellerie de lourdes sujétions : perte de temps par suite de l'obligation pour les bateaux de ne passer dans un sens donné qu'à des heures déterminées ; augmentation des frais de traction par suite de l'exagération des résistances ; etc. A la rigueur on peut les admettre sur un point unique, alors qu'elles ont pour contre-partie une économie considérable sur les frais de premier établissement. Ces sujétions seraient intolérables et injustifiées si elles se reproduisaient au passage des autres souterrains qui peuvent se rencontrer sur la voie navigable. Là où l'établissement de semblables ouvrages peut être nécessaire, en dehors des biefs de partage, il est rationnel de leur donner une ouverture assez grande pour permettre le croisement des bateaux.

Dans cet ordre d'idées nous considérons encore comme à recommander le type du souterrain de Condes construit au cours des années 1883 à 1886 (pl. VIII). Sa longueur est de

1. *Rivières à courant libre*, page 388.

Digitized by Google

Pl. VIII. PROFIL TRANSVERSAL DU SOUTERRAIN DE CONDES

Digitized by Google

307 m. 75 seulement; son ouverture est de 16 mètres dont 11 mètres pour le passage des bateaux et 5 mètres pour deux chemins de halage, de 2 m. 50 de largeur chacun, établis sur des estacades métalliques semblables à celle du souterrain de Balesmes.

La dépense totale a été de 964.273 francs, ce qui fait ressortir le prix du mètre courant à 3.133 fr. 30, dont 240 fr. 05 pour les passerelles métalliques de halage [1].

Est-il nécessaire d'ajouter, en terminant, que les dimensions des souterrains ci-dessus décrits sont en rapport avec celles qui caractérisent les canaux du type légal en France. Sur des canaux susceptibles de recevoir des bateaux de plus fort tonnage, ces dimensions devraient, naturellement, s'accroître en conséquence. C'est ainsi que dans l'avant-projet du canal de Marseille au Rhône, le souterrain du Rove, prévu cependant à une seule voie, mais pour donner passage aux plus grands bateaux porteurs du Rhône, ne mesure pas moins de 22 m. 50 de largeur au niveau des banquettes de halage (à 6 mètres au-dessus du plafond) et 16 m. 20 de hauteur sous clef.

1. Voir, pour plus de détails, le mémoire déjà cité de M. l'ingénieur en chef Gustave Cadart sur le canal de la Marne à la Saône, mémoire inséré aux *Annales des Ponts et Chaussées* (1899, 4e trimestre).

Le profil transversal de la planche VIII reproduit un dessin qui a figuré à l'Exposition Universelle de 1900; il diffère par quelques points de détail de celui qui est représenté dans les planches annexées au mémoire des *Annales*.

Digitized by Google

CHAPITRE III

OUVRAGES A LA RENCONTRE DES VOIES DE COMMUNICATION PAR TERRE

§ 1. *Ponts fixes par-dessus le canal.* — § 2. *Ponts mobiles.* — § 3. *Ponts par dessous.*

30. Division du chapitre. — Les voies de communication par terre rencontrées par un canal peuvent occuper par rapport à la voie navigable des situations très variées, mais il n'y a, en réalité, à distinguer que trois cas auxquels correspondent respectivement trois genres de solution.

La voie de communication par terre peut être au-dessus de la voie navigable à un niveau assez élevé pour que les bateaux trouvent une hauteur libre suffisante sous la voûte ou le tablier d'un pont fixe ; la construction d'un ouvrage de ce genre est alors la solution.

Si la voie de communication doit franchir la voie navigable à niveau ou avec une revanche insuffisante pour satisfaire à la condition ci-dessus, il devient nécessaire d'avoir recours à un pont mobile, c'est-à-dire à un ouvrage susceptible de prendre alternativement deux positions correspondant, l'une à la continuité de la voie de terre et à l'interruption de la circulation sur la voie navigable, l'autre à la combinaison inverse.

Enfin la voie de communication par terre peut être inférieure à la voie navigable d'une quantité suffisante pour que le gabarit nécessaire trouve sa place au-dessous du plafond

Digitized by Google

du canal ; la solution consiste alors dans la construction d'un pont par-dessous.

Le présent chapitre est divisé en trois sections correspondant respectivement aux trois cas énumérés ci-dessus : ponts fixes par-dessus le canal ; ponts mobiles ; ponts par dessous. Si on considère que les ponts mobiles correspondent exactement aux passages à niveau, on retrouve les trois mêmes catégories d'ouvrages qu'en matière de chemins de fer.

§ 1

PONTS FIXES PAR-DESSUS LE CANAL

31. Conditions auxquelles ils doivent satisfaire au point de vue de la navigation. — Tout d'abord ces ouvrages doivent présenter, au-dessus du niveau des plus hautes eaux navigables, assez de hauteur libre, assez de *tirant d'air*, suivant une expression couramment employée aujourd'hui, pour donner passage à un rectangle ayant la largeur minimum des écluses sur la voie considérée et une hauteur qui varie avec cette largeur mais qui, aux termes de la loi du 5 août 1879, ne peut pas descendre au-dessous de 3 m. 70 sur les voies principales. Ce chiffre doit être considéré comme correspondant aux voies dont les écluses ont 5 m. 20 de largeur ; il augmente avec cette dernière dimension ; sur la Seine canalisée où la largeur des écluses s'élève à 12 mètres, il atteint 5 m. 50.

En second lieu, il est essentiel que la section mouillée de la voie navigable, sous le pont, reste suffisante pour ne pas augmenter outre mesure la résistance au mouvement des bateaux et, d'autre part, pour que cette résistance puisse être aisément vaincue, il est indispensable que la traction ne soit pas entravée. En un mot il faut éviter, au passage des ponts, des pertes de

Digitized by Google

temps qui ne seraient pas, comme aux écluses, commandées par les circonstances.

Il s'en faut de beaucoup qu'on ait toujours tenu un compte suffisant de ces considérations pratiques. Sur les anciens canaux, on trouve encore nombre de ponts dont on s'est, avant tout, préoccupé de réduire l'ouverture en vue de diminuer autant que possible la dépense de premier établissement. Sous ces ouvrages, la voie d'eau, ramenée à ce qui est strictement nécessaire pour le passage d'un bateau, est resserrée entre deux murs verticaux présentant le même écartement que les bajoyers d'une écluse, soit 5 m. 20 à 5 m. 30 pour un canal du type légal, et la continuité du halage n'est assurée que d'un côté.

Après les explications données plus haut (pages 22 et suivantes) sur les phénomènes qui se produisent lors de la marche d'un bateau dans un canal, il n'est pas nécessaire d'entrer dans de nouveaux détails pour faire comprendre l'importance de l'obstacle qu'un semblable rétrécissement de la voie d'eau peut mettre à la navigation.

D'autre part une seconde banquette de halage, indispensable lorsque la traction se fait simultanément sur les deux voies, comme c'est le cas pour la traction à col d'hommes sur les canaux du Centre de la France, est encore nécessaire lorsque la traction ne se fait que d'une rive. Elle est nécessaire pour faire certaines manœuvres que peut exiger la direction du bateau, pour lui permettre de *se livrer droit dans le pont*, suivant l'expression imagée des mariniers.

Aussi qu'arrive-t-il trop souvent au passage de ces ponts d'ouverture insuffisante ? Pour peu que l'alimentation ou les manœuvres d'écluse produisent un courant en sens contraire de la marche du bateau, l'obstacle devient infranchissable pour ce dernier eu égard aux faibles moyens de traction dont il dispose ; il perd sa vitesse, se met en travers, s'arrête et finalement est obligé de reculer pour attendre celui qui le suit. Alors en doublant la traction et en prenant suffisamment d'erre

Digitized by Google

on parvient à faire franchir successivement aux deux bateaux le malencontreux passage; mais que de temps et d'efforts perdus !

Deux banquettes de halage sont nécessaires, avons-nous dit; quelle largeur convient-il de leur assigner?

Pour donner passage à des chevaux, ils faut au moins 2 m. 50, ces animaux tirant toujours un peu obliquement et ne pouvant raser le bord de la banquette comme le ferait un homme. Si, dans les grands souterrains des biefs de partage nous avons vu la largeur du chemin de halage tomber à 1 m.40, ce n'est qu'à titre tout à fait exceptionnel et à la condition d'être muni d'un solide garde-corps du côté de la cuvette, lorsqu'il est effectivement suivi par les chevaux. Donc, en cas de halage par chevaux, la largeur de 2 m. 50 doit être considérée comme un minimum; une hauteur libre de 2 m. 70 au moins au-dessus de la banquette est d'ailleurs nécessaire.

Quand, au contraire, il s'agit seulement d'assurer le passage des hommes, il suffit à la rigueur d'un marchepied de 1 mètre de largeur et la hauteur libre peut se réduire à 2 mètres.

22. Ouverture des ponts à une seule voie de bateau. — Des conditions énoncées ci-dessus, il est très facile de déduire la largeur minimum à donner à cette ouverture.

Les deux banquettes de halage occuperont au moins 3 m. 50 ou 5 mètres, selon que la traction animale s'exercera sur une seule rive ou sur les deux.

Quant à la passe navigable, sa largeur doit dépasser de 1 mètre au moins celle des bateaux les plus larges, B.

L'ouverture minimum du pont sera donc, selon le cas, de B + 4 m. 50 ou B + 6 mètres, c'est-à-dire de 9 m. 50 ou de 11 mètres s'il s'agit de canaux du type légal en France.

Encore faut-il observer que sur ces canaux, la valeur du rapport n, au passage des ponts à une seule voie de bateau, tomberait à :

Digitized by Google

$$\frac{6,00 \times 2,20}{5,00 \times 1,80} = \frac{13,20}{9} = 1,47$$

ce qui est bien faible. Pour élever ce rapport à une valeur plus admissible, supérieure à 1,5 et aussi voisine que possible de 2,0, il serait nécessaire d'approfondir la cuvette sous le pont ou de placer une des banquettes au moins en encorbellement, sur estacade.

33. Ouverture des ponts à double voie de bateau. — Dès qu'on prévoit pour un canal un trafic un peu important, et ce sera assurément le cas de tous les canaux qui pourront être construits dans l'avenir, on admet aujourd'hui que les ponts fixes par-dessus doivent être établis avec double voie de bateau. La question est de savoir s'il est préférable de modifier la section transversale de la voie d'eau au passage des ponts de manière à réduire autant que possible l'ouverture de ces ouvrages ou, au contraire, de donner à cette ouverture l'ampleur nécessaire pour éviter toute modification du profil en travers de la voie d'eau.

Dans le premier cas, la passe navigable est comprise entre deux murs verticaux dont la distance doit surpasser au moins de 1 m. 50 à 2 mètres le double de la largeur B d'un bateau. Il faut bien, en effet, laisser entre deux bateaux qui se croisent et qui sont animés de vitesses en sens contraire, un espace de 1 mètre. Un jeu de 0 m. 25 à 0 m. 50 sur chaque rive n'est pas moins nécessaire, car un choc contre l'un des murs rejetterait sur l'autre bateau celui qui aurait touché. Pour les canaux du type légal en France, la largeur minimum de la passe sera donc de 11 m. 50 à 12 mètres. Avec cette largeur, il n'est besoin d'avoir recours à aucun artifice pour augmenter la section mouillée, d'autant plus que si deux bateaux se croisent sous le pont ils auront, sur le déplacement de l'eau, des effets en sens contraire qui tendront à se neutraliser.

En ce qui concerne les dimensions des banquettes à ména-

Digitized by Google

ger sous le pont, il n'y a rien à modifier à ce qui a été dit plus haut ; toutefois l'importance du trafic, qui justifie l'établissement d'une double voie de bateau, semble bien commander celui d'un double chemin de halage et par conséquent la construction de deux banquettes égales, de 2 m. 50 de largeur chacune.

En définitive l'ouverture minimum d'un pont à double voie pourrait tomber à l'extrême rigueur à :

$$2B + 1 \text{ m. } 50 + 2 \text{ m. } 50 + 1 \text{ m. } 00 = 2B + 5 \text{ m. } 00$$

mais il semble plus rationnel de tabler sur :

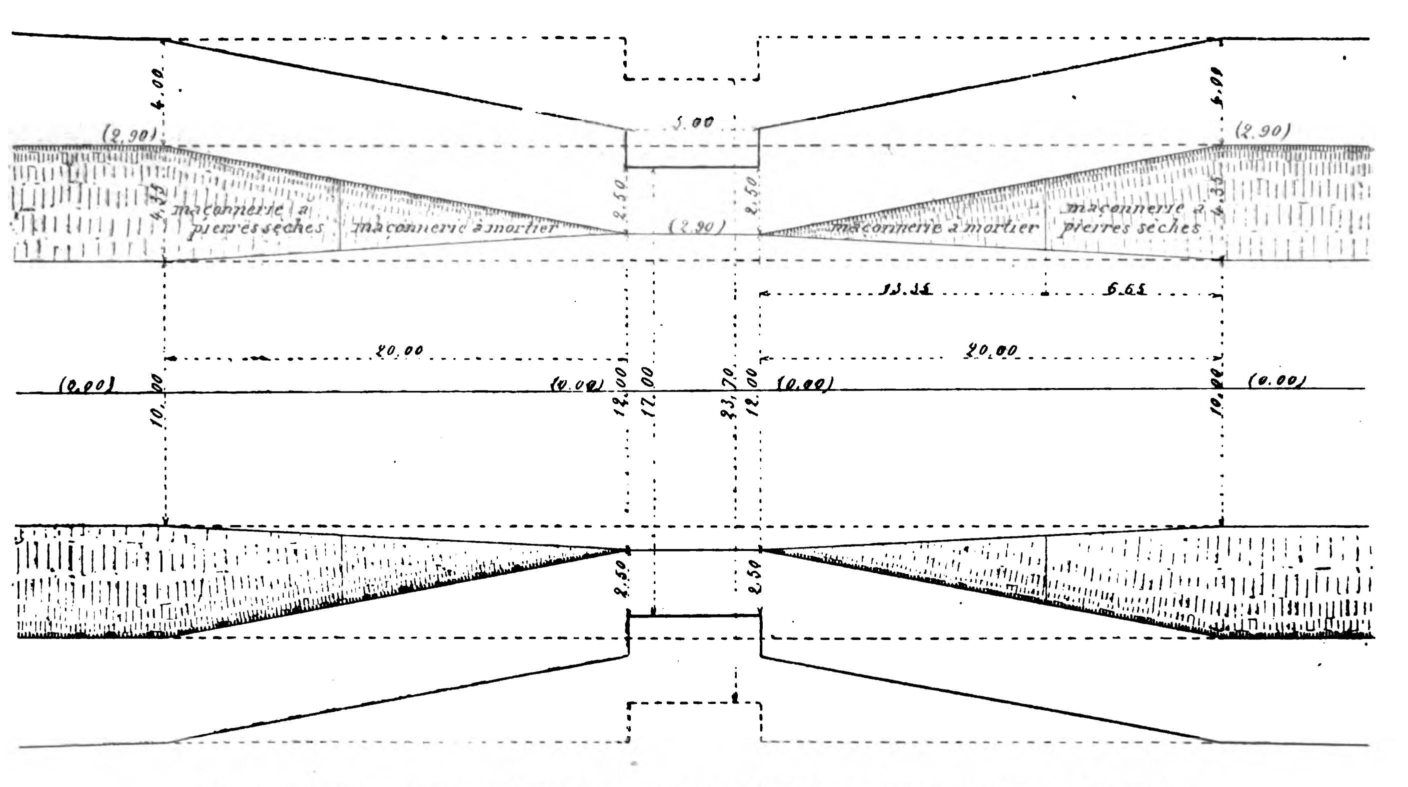
$$2B + 2 \text{ m. } 00 + 2 \times 2 \text{ m. } 50 = 2B + 7 \text{ m. } 00.$$

Pour les canaux du type légal en France, ces expressions correspondent respectivement à 15 et 17 mètres.

Mais, tant au point de vue des mouvements de l'eau dans le canal qu'à celui de la bonne direction de l'effort de traction, il importe que la transition de la section normale du canal à la section rétrécie sous le pont se fasse progressivement, sur une certaine longueur, de chaque côté. Par exemple, le raccordement entre le parement vertical du mur soutenant la banquette de halage et le talus normal de la cuvette, généralement incliné à 3 de base pour 2 de hauteur, se fera, sur chaque rive, au moyen d'une surface gauche s'étendant sur une vingtaine de mètres à l'amont et à l'aval (pl. IX). Sur toute cette longueur, un revêtement de la berge sera nécessaire ; il sera construit en maçonnerie à bain de mortier depuis l'extrémité du parement vertical jusqu'au point où la génératrice du talus est inclinée de 45° et, au delà, en pierres sèches.

Il résulte donc, du fait même du rétrécissement destiné à diminuer l'ouverture du pont, un développement considérable d'ouvrages accessoires : murs des banquettes de halage, murs gauches, perrés. Ce développement est tel que dans certains cas, la comparaison des dépenses pourra amener à faire

Digitized by Google



Pl. IX. PONTS FIXES PAR DESSUS AVEC OU SANS RÉTRÉCISSEMENT. — PLAN SCHEMATIQUE

Digitized by Google

préférer un pont d'une ouverture assez grande pour conserver à très peu près la section transversale normale du canal. La planche IX donne le croquis schématique du plan des abords d'un pont à deux voies de bateau établi sur un canal du type légal : 1° en traits pleins, dans le cas du rétrécissement effectué suivant les dispositions indiquées ci-dessus ; 2° en traits ponctués, dans le cas où la section normale du canal est conservée sans autres modifications que la réduction du chemin de halage à 2 m. 50 de largeur sur la longueur des culées. Il est facile de voir que l'augmentation d'ouverture du pont dans le second cas, ne dépasse pas 6 m. 70, 7 m. 70 au plus si on suppose qu'il existe des banquettes de batillage au niveau du plan d'eau. Lorsque la différence des prix de revient est peu importante, il ne faut pas hésiter à adopter les dispositions les plus commodes pour l'exploitation.

Ainsi, lors de la construction du canal de l'Est, la section transversale normale a été conservée presque sans changement sous les ponts par-dessus. On s'est contenté de raidir, au passage, les talus de la cuvette ; leur inclinaison a été portée de 3 de base pour 2 de hauteur à 45°, ce qui a permis de gagner 1 m. 25 de chaque côté soit 2 m. 50 sur l'ouverture totale de ces ponts ; mais les talus raidis ont dû être revêtus d'un perré à pierres sèches. Le prix de ce perré n'était assurément pas bien élevé ; cependant les ingénieurs qui avaient dirigé la construction du canal en sont venus à se demander s'ils n'auraient pas mieux fait de s'abstenir de cette modification, si insignifiante en apparence, du profil transversal.

Dans tous les cas, il est essentiel que les ponts fixes par-dessus soient d'une seule portée ; toute pile intermédiaire placée dans le canal constituerait une gêne et même un danger pour la batellerie, formerait un écueil contre lequel les bateaux risqueraient toujours de se jeter, surtout la nuit. Des ponts avec pile intermédiaire avaient été construits primitivement sur le canal de la Marne au Rhin ; on a été obligé de les démolir. Cette expérience paraît concluante.

Digitized by Google

34. Mode de construction des ponts fixes par-dessus les canaux. — Nous pourrions nous contenter de renvoyer au *Cours de ponts*, attendu que le mode de construction des ponts fixes établis sur les canaux, à la rencontre des voies de communication par terre, ne diffère pas sensiblement de celui des ouvrages de même espèce établis dans d'autres circonstances pour assurer le passage de ces voies de communication. Nous serons donc très bref sur ce sujet.

Nous avons dit que les ponts fixes par-dessus les canaux devaient être d'une seule portée. Avec cette condition, l'emploi de la maçonnerie trouvera difficilement son application, en dehors des passages rétrécis. Non seulement des voûtes dont l'ouverture peut aller jusqu'à 20 et 25 mètres exigent des culées très solides et donnent lieu à une dépense importante, mais l'emploi de ces voûtes conduit à placer la voie de terre à un niveau plus élevé, entraîne par suite des rampes d'accès plus longues et impose aux voitures une ascension plus forte que dans tout autre système.

L'emploi des tabliers métalliques est naturellement indiqué; mais, pour éviter que la dépense n'augmente trop rapidement avec l'ouverture, il est rationnel de diminuer le poids du métal autant que possible, partout où la circulation routière peut accepter les dispositions qui assurent la plus grande légèreté de la construction. Dans cet ordre d'idées, pour presque tous les chemins ruraux ou d'exploitation et même pour une bonne partie des chemins vicinaux, on peut se dispenser de construire des chaussées en empierrement.

L'empierrement sur voûtes en briques, solution classique, dont on ne saurait méconnaître la valeur lorsqu'il faut desservir une circulation de quelque importance, a le tort de charger le tablier d'un poids mort énorme (environ 1.000 kilogrammes par mètre carré, alors que la surcharge d'épreuve des ponts métalliques n'est que de 400 kilogrammes). En substituant des tôles embouties aux voûtes en briques, on diminue cette surcharge permanente; mais, même réduite, il n'y a aucune raison

Digitized by Google

de se l'imposer, lorsque la circulation ne le réclame pas. Or, il en est ainsi pour le plus grand nombre des chemins que l'on rencontre en rase campagne. Leur fréquentation est insignifiante ; souvent même on n'y place des ponts que pour éviter les indemnités de dépréciation qui seraient une conséquence de la suppression du passage.

Aussi dans un grand nombre de cas et, surtout, lorsque les besoins de la circulation par terre n'exigent qu'une *seule* voie charretière, les préférences de bien des ingénieurs de navigation sont-elles acquises aux tabliers métalliques droits, avec platelage en bois[1], comportant deux poutres de rive qui reposent simplement sur les deux culées.

Ils exigent un peu plus d'entretien, mais ils sont légers, solides, sans poussée ; il est facile de les exhausser au besoin, de les démonter et de les utiliser ailleurs, si on est conduit à les remplacer. Ils sont, en outre, très économiques de premier établissement ; or cette économie permet, avec la même dépense, d'augmenter l'ouverture des ponts et de donner à la batellerie les aisances qui, sur beaucoup de nos canaux, lui ont été trop souvent refusées.

Pour des routes ou des chemins plus fréquentés, qui exigent une *double* voie charretière et, par suite, une plus grande largeur de tablier, les ponts droits avec deux poutres de rive perdent une partie de leurs avantages. Leur emploi peut exiger alors de longues entretoises comparables à de véritables poutres de ponts. L'aspect de ces ouvrages dans une ville ou dans une localité de quelque importance est, en outre, peu satisfaisant.

Dans ce cas, l'emploi d'arcs surbaissés en tôle est souvent préféré. On les rapproche et on les multiplie autant qu'il est nécessaire, et on les réunit au moyen d'un plancher mixte en fer et maçonnerie qui supporte l'empierrement et qui, eu

1. Dans les pays où on peut se procurer à bon compte de vieux câbles de mines en aloès, la substitution au platelage supérieur d'un tapis fait avec ces vieux câbles est très avantageuse à tous les points de vue.

Digitized by Google

égard à l'importance de la voie de terre, se trouve alors parfaitement justifié.

Il y a lieu de remarquer que la forme de l'arc surbaissé est très rationnelle sur les canaux ; car au droit des retombées de l'arc règnent les chemins de halage, au-dessus desquels la hauteur libre peut être moindre que dans l'axe du canal.

Certains constructeurs adoptent exclusivement l'un ou l'autre de ces types pour tous les ponts, sans distinction, d'une même voie navigable ; d'autres au contraire les emploient simultanément suivant les cas. C'est ainsi que sur le canal de la Marne au Rhin tous les ponts sont à poutres droites tandis que sur celui de la Marne à la Saône ils sont tous en arc. Sur le canal de l'Est, au contraire, les deux types ont été simultanément employés.

La collection publiée par le Ministère des Travaux Publics sous le titre d'*Atlas des voies navigables de la France* contient les dessins de nombreux spécimens de ponts fixes sur canaux.

35. Pont oscillant. — C'est ici qu'il convient de mentionner un système de pont, dit *pont oscillant*, qui forme pour ainsi dire la transition entre les ponts fixes et les ponts mobiles. Il tient de ces derniers en ce qu'il comporte un tablier métallique susceptible de certains mouvements, dans d'étroites limites il est vrai ; il se rapproche des premiers en ce qu'il ne peut être établi que là où la hauteur libre sous ce tablier est suffisante pour assurer le passage des bateaux. En réalité, ce système ne s'applique guère qu'au cas où on veut utiliser directement comme culées les murs de fuite d'une écluse. Il permet alors d'éviter toute interruption de la traction, en s'ouvrant, au moment voulu, de la quantité nécessaire pour laisser passer la corde de halage.

Le tablier métallique du pont oscillant peut tourner autour d'un axe horizontal qui est placé à quelques décimètres en arrière du parement du bajoyer, du côté opposé au halage, et qui divise le tablier en deux parties inégales, mais à peu près

Digitized by Google

équilibrées; la plus longue, la *volée*, a une longueur sensiblement double de celle de l'autre, la *culasse*.

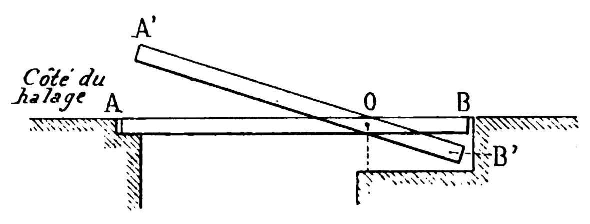


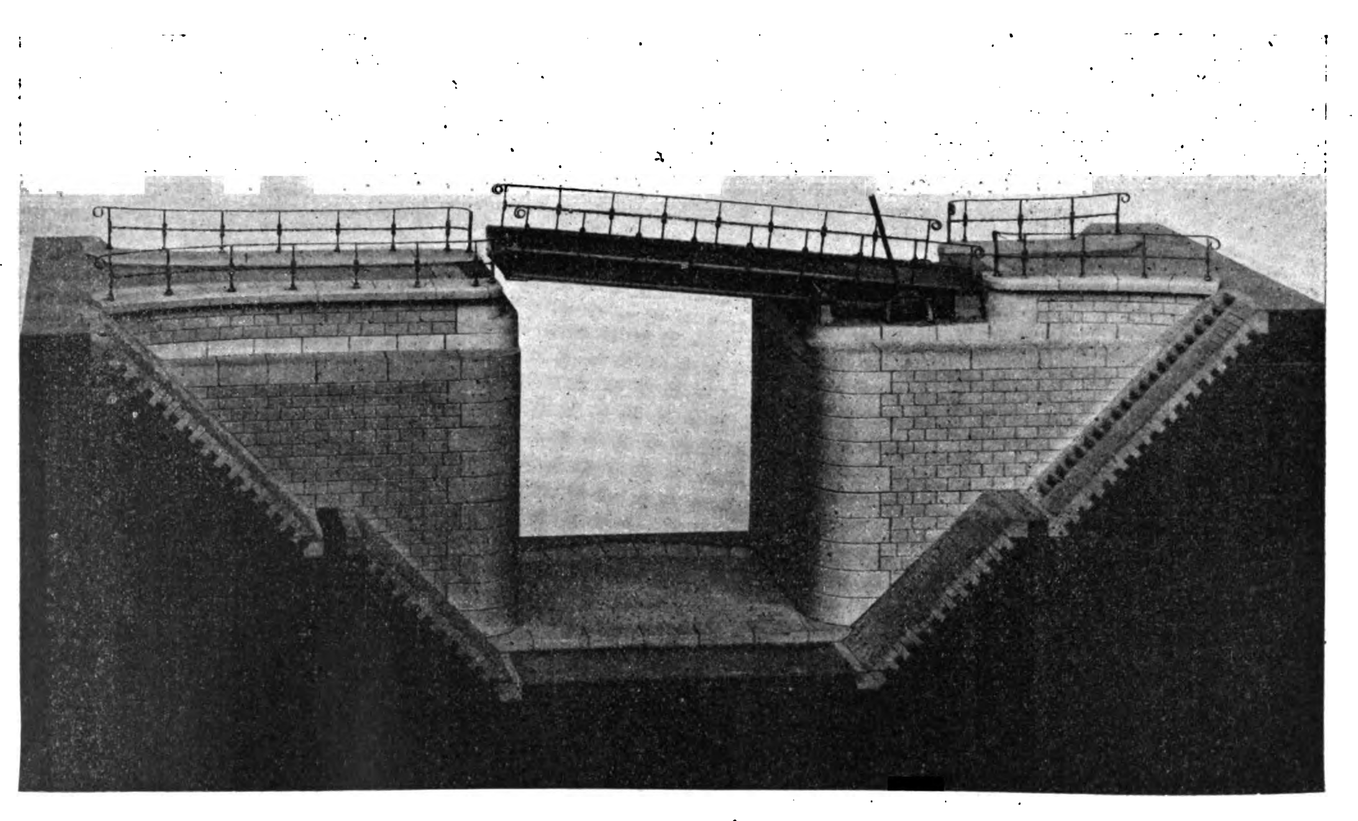
Fig. 6.

Quant le tablier est dans sa position normale (fig. 6), il s'appuie par son extrémité A sur la culée, côté du halage, tandis que l'extrémité B est soutenue par un système particulier de verrous au niveau du couronnement de l'autre culée. Cette dernière présente d'ailleurs une chambre disposée de telle façon que le tablier peut, par un mouvement de bascule, venir en A'B'. Une solution de continuité est ainsi obtenue qui laisse le passage libre pour la corde de halage Quand elle n'est plus nécessaire, une oscillation en sens contraire ramène le tablier en sa position normale AB.

La manœuvre est des plus simples. Pour ouvrir le tablier, l'éclusier dégage le verrou et pèse de son poids sur la culasse qui s'abat. Pour fermer le pont, il pèse au contraire sur la volée, la culasse se relève et, quand elle arrive à sa position normale, un système de contrepoids referme automatiquement les verrous.

Le premier pont oscillant a été exécuté par nous à l'écluse des Dames, sur le canal du Nivernais, en 1882. Un modèle de cet ouvrage est conservé dans les galeries de l'Ecole des Ponts et Chaussées ; la planche X en donne une reproduction.

Digitized by Google



Pl. X. PONT OSCILLANT SUR L'ÉCLUSE DES DAMES

Digitized by Google

§ 2

PONTS MOBILES

26. Considérations générales. — Ainsi que nous l'avons indiqué déjà, les ponts mobiles sur les canaux correspondent aux passages à niveau des chemins de fer ; ils en ont les inconvénients et les avantages.

Au point de vue de la circulation sur les voies de terre, les interruptions plus ou moins fréquentes, plus ou moins prolongées, provenant du passage des bateaux, constituent, surtout pour les voitures [1], une gêne qui peut devenir très sérieuse en certains cas, par exemple si la voie susceptible d'être interrompue aboutit à une gare de chemin de fer. Par contre, le pont mobile n'exige aucune modification du profil en long de la voie de communication par terre et par cela seul constitue généralement une solution économique. Dans des pays plats comme le Nord de la France, l'Ouest de la Belgique, la Hollande, l'obligation de gravir, pour redescendre ensuite, les rampes d'accès que comportent les ponts fixes établis au-dessus des canaux, impose à la circulation routière une sujétion qui contrarie ses habitudes. Enfin, dans certaines circonstances, au milieu des agglomérations, par exemple, la construction de ces rampes d'accès peut être quelquefois pratiquement impossible.

Au point de vue de la navigation, on doit considérer comme un sérieux inconvénient l'obligation pour les bateaux de s'arrêter quand le passage est fermé ; mais quand il est libre rien n'entrave ni même ne gêne le halage, au moins sur une rive. Un personnel est nécessaire pour la manœuvre des ponts

1. Pour les piétons, la gêne peut être notablement atténuée en accolant au pont mobile une passerelle fixe, qui est établie à un niveau suffisamment élevé au-dessus du canal et à laquelle on accède au moyen d'escaliers.

Digitized by Google

mobiles, mais dans bien des cas cette manœuvre est assurée à très peu de frais par les femmes des gardes ou des cantonniers, et surtout par les éclusiers. Cette dernière considération n'est d'ailleurs pas la seule qui justifie l'emploi des ponts mobiles aux écluses, sur les murs de fuite employés directement comme culées [1].

En effet, c'est assurément là que le canal présente la moindre largeur ; la portée du pont mobile y sera donc réduite au minimum ; le tablier sera aussi léger, la manœuvre aussi rapide que possible. Enfin, si le halage n'est pratiqué que sur une rive et si on choisit pour établir la partie fixe de l'ouvrage le côté opposé à celui du halage, ce dernier est complètement dégagé, la continuité de la traction dans toutes les phases de l'éclusage est absolument assurée.

Quoi qu'il en soit, il faut reconnaître qu'aujourd'hui la tendance est d'établir des ponts fixes partout où la circulation est importante sur la voie d'eau et la voie de terre. Quand il en est ainsi, on considère comme essentiel d'assurer la complète indépendance des deux voies. Les ponts mobiles sont, en général, réservés maintenant aux points où le canal est moins fréquenté, où la circulation sur la voie de terre est moins active.

Aussi laisserons-nous au *Cours de travaux maritimes* tout ce qui concerne les grands ponts mobiles qui, dans les ports de mer, prennent une importance toute spéciale. Nous nous bornerons ici à faire connaître les conditions générales que ces ouvrages doivent remplir sur les canaux de navigation intérieure et les types plus modestes susceptibles de satisfaire à ces conditions. Les systèmes les plus usités sont les *ponts*

1. Quand une circulation routière très intense justifie cette disposition, on peut établir deux ponts mobiles sur une même écluse : l'un sur les murs de fuite, à l'emplacement consacré ; l'autre sur les bajoyers de la tête amont convenablement allongés à cet effet. Quand l'un des ponts est ouvert, l'autre est fermé, la circulation sur la voie de terre est toujours assurée par l'un ou par l'autre.

Digitized by Google

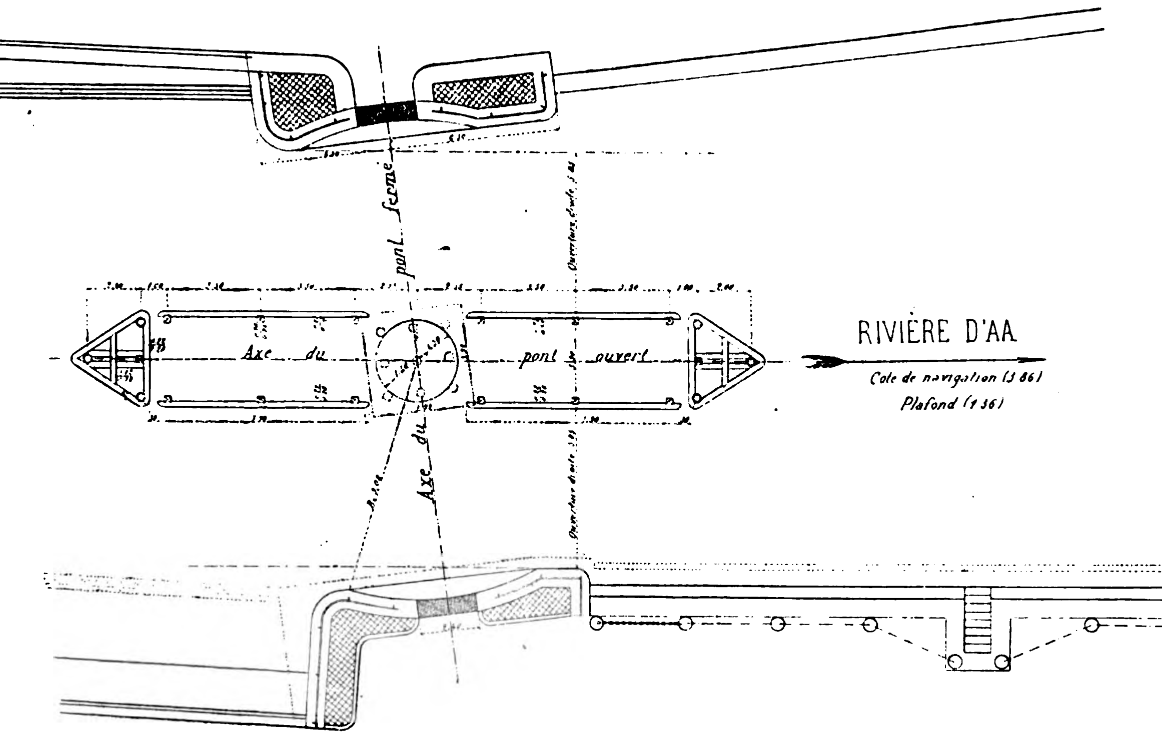
tournants et les *ponts-levis à flèche*, manœuvrés, les uns et les autres, à la main.

37. Ponts tournants. — Les ponts tournants, comme leur nom l'indique, comportent essentiellement un tablier mobile susceptible de tourner horizontalement autour d'un axe vertical. Dans une des positions extrêmes, le tablier réunit les deux culées ; il intercepte la voie d'eau et assure la continuité de la voie de terre. Dans l'autre position extrême, il se place parallèlement à l'axe de la voie d'eau dont la continuité est ainsi réalisée, tandis que la circulation est interrompue sur la voie de terre.

38. Infrastructure. — Nous désignons ainsi l'ensemble des parties fixes et notamment des maçonneries de l'ouvrage.

La disposition la plus usitée aujourd'hui comporte une pile médiane qui n'a pas ici les mêmes inconvénients que dans les ponts fixes, la manœuvre du pont tournant exigeant toujours sinon l'arrêt complet des bateaux, au moins un grand ralentissement dans leur marche. C'est sur cette pile que repose le tablier mobile. Des estacades en charpente construites à l'amont et à l'aval (pl. XI) constituent dans l'axe du canal un appontement au-dessus duquel le tablier vient se placer et trouve une protection complète lorsque le pont est ouvert. Deux passes navigables se trouvent alors ménagées entre l'appontement et les culées ; la largeur de ces passes doit, autant que possible, ne pas descendre au-dessous de 6 mètres pour les bateaux de 5 mètres. La disposition de ces ouvrages à double voie présente de grands avantages : elle facilite la circulation des bateaux et les mouvements de l'eau ; elle assure, en outre, la continuité du halage sur les deux rives et évite tout encombrement. Si on considère que la largeur de l'appontement médian doit être de 4 mètres environ, on voit que la distance des deux culées ne diffère pas sensiblement de 16 mètres, c'est-à-dire de la largeur au plan d'eau dans les canaux du type légal.

Digitized by Google



Pl. XI. PONT TOURNANT A DEUX VOIES SUR L'AA A SAINT-OMER. — INFRASTRUCTURE.

Digitized by Google

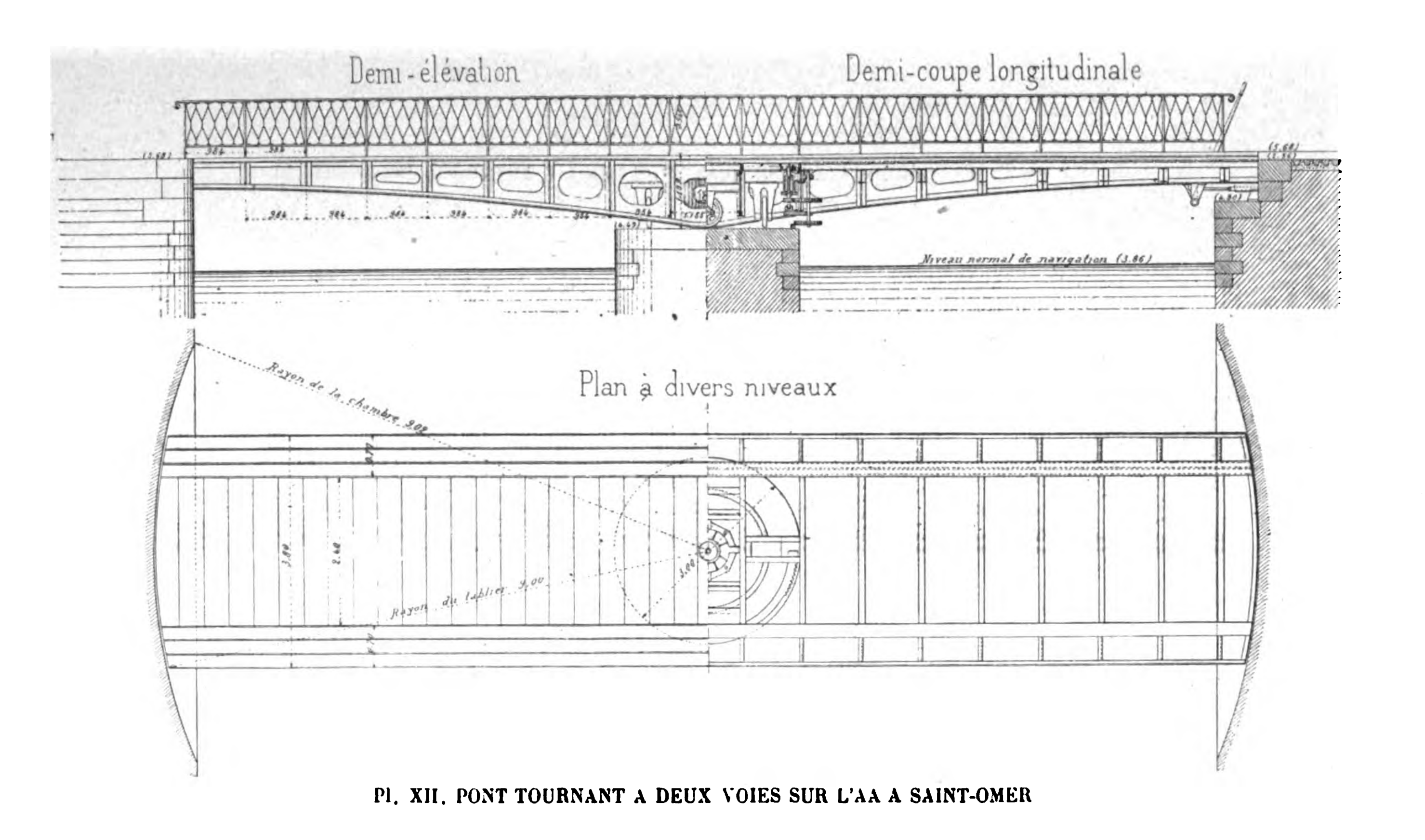
Quand la largeur du canal est insuffisante, la pile est rapprochée de la rive opposée au halage, autant qu'il est nécessaire pour ménager le long de l'autre rive une passe navigable dans les conditions de largeur ci-dessus indiquées (pl.XIV, page 79). Le pont est alors à une seule voie de bateau, mais il continue à faciliter autant que possible les mouvements de l'eau ; le maintien de la pile présente donc, au point de vue de la résistance à la traction des bateaux, de sérieux avantages sur la disposition qui consisterait à prolonger jusqu'à la passe navigable la culée de la rive opposée au halage.

39. Superstructure. — La superstructure d'un pont tournant comprend : 1° le tablier ; 2° le pivot ; 3° le mécanisme de calage ; 4° le mécanisme de manœuvre. Des dispositions très diverses sont employées dans les différents services ; celles qui sont indiquées ci-après sont empruntées aux canaux du Nord et du Pas-de-Calais.

Le tablier se compose essentiellement de deux poutres de rive, ou longerons, réunies par des entretoises supportant un double platelage en bois pour une voie charretière dont la largeur est, le plus souvent, comprise entre 2 m. 25 et 2 m. 40. A ces chiffres, il faut ajouter 0 m. 50 pour la largeur des semelles supérieures des longerons, quand il n'y a pas de trottoirs, et, dans le cas contraire, 1 m. 40 pour deux trottoirs de 0 m. 70 chacun établis en encorbellement sur des consoles (pl. XII) ; la largeur totale varie donc entre 2 m. 75 et 3 m. 80. Quelquefois, pour assurer le passage de certaines machines agricoles, il est nécessaire de porter à 3 mètres au moins la largeur de la voie charretière. Sur cette voie, il y a avantage, ainsi que nous l'avons déjà indiqué, à remplacer le platelage supérieur par un tapis en vieux câbles d'aloès ; quant aux trottoirs, ils peuvent être constitués par des madriers longitudinaux non jointifs (pl. XII) ou par des plaques de tôle striée (pl. XIV).

Le tablier est divisé par le pivot en deux parties qui doivent

Digitized by Google

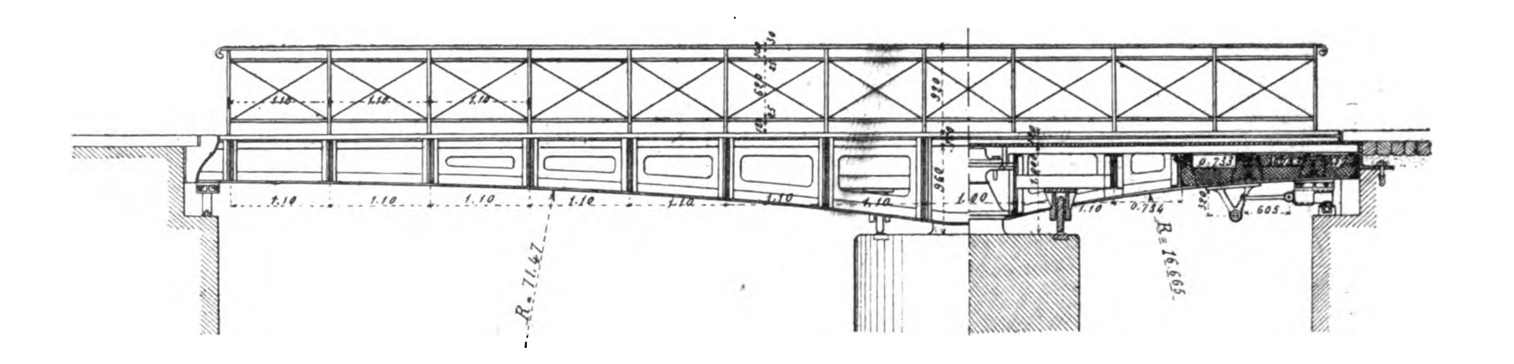


Pl. XII. PONT TOURNANT A DEUX VOIES SUR L'AA A SAINT-OMER

Digitized by Google

DEMI-ÉLÉVATION

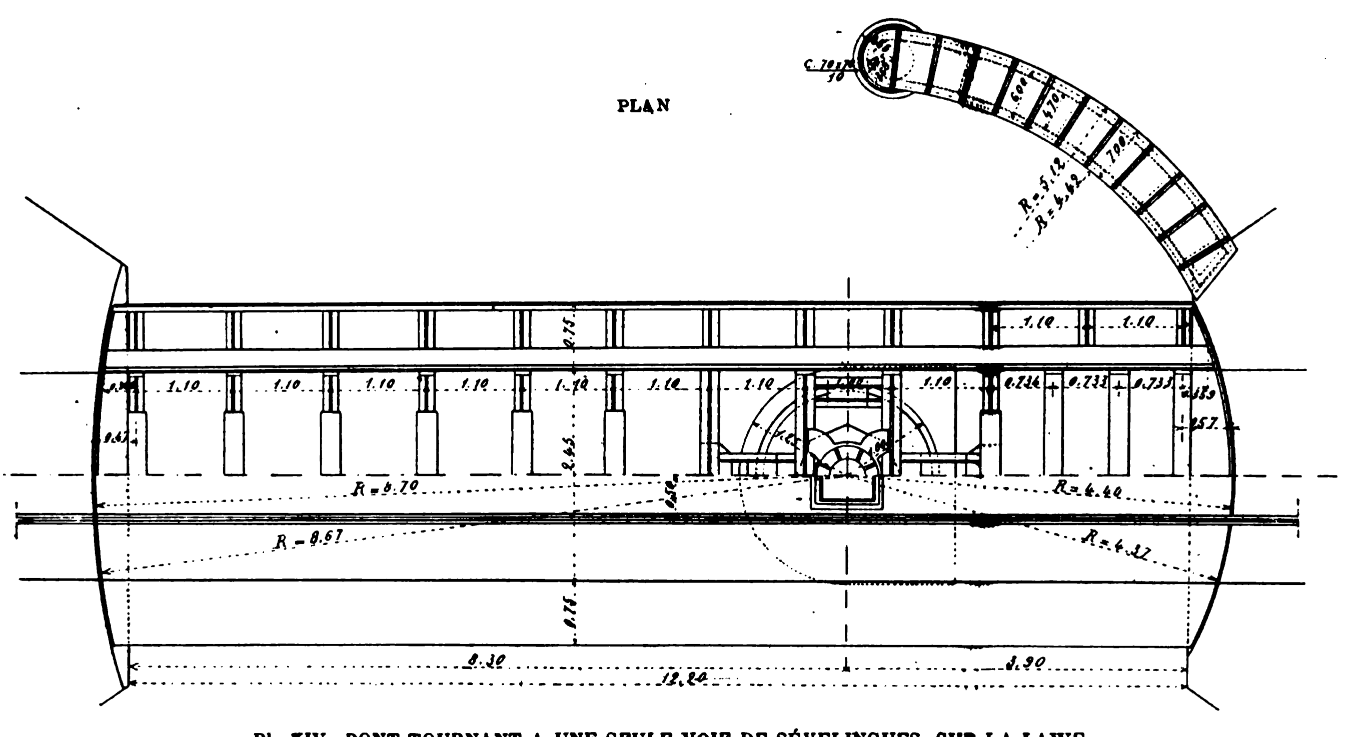
DEMI-COUPE SUR L'AXE



Pl. XIII. PONT TOURNANT A UNE SEULE VOIE DE SÉVELINGUES, SUR LA LAWE

Digitized by Google

PLAN



Pl. XIV. PONT TOURNANT A UNE SEULE VOIE DE SÉVELINGUES, SUR LA LAWE

Digitized by Google

se faire équilibre. Si le pont est à deux voies, avec une pile médiane, les deux parties sont identiques, les deux *volées* sont d'égale longueur, l'équilibre en résulte tout naturellement. Si le pont est à une seule voie de bateau, la *volée* (côté de la passe navigable) est généralement plus longue que la *culasse* (côté opposé) et, par suite, cette dernière doit être plus lourde. S'il y a économie dans le second cas, cela ne peut être que sur la main-d'œuvre et la nature du métal et, en effet, l'équilibre est obtenu au moyen de masses de fonte formant contrepoids. Leur volume est calculé à l'avance d'après leur position; mais les résultats du calcul sont vérifiés expérimentalement au moment du montage du tablier.

La semelle supérieure des longerons est horizontale comme la voie charretière et les trottoirs; la semelle inférieure est profilée suivant deux arcs de cercle, concaves vers le bas, qui se coupent au droit du pivot et dont les tangentes aux extrémités sont horizontales. Quand le pont est à deux voies, quand les deux volées sont égales, ce tracé comporte deux parties symétriques. Il n'en est plus de même lorsque le pont est à une seule voie, lorsqu'il comporte une volée et une culasse d'inégales longueurs; mais la dissymétrie qui met bien en évidence la position de l'axe de rotation est rationnelle et n'a rien de choquant à l'œil.

Le tablier repose sur le pivot par l'intermédiaire d'une pièce nommée *chevêtre*, constituée soit par une soit par deux entretoises et dont les dimensions sont calculées de manière qu'elle puisse supporter tout le poids du pont, sans travail excessif du métal. En ce qui concerne les longerons, il y a lieu d'observer que le travail du métal dans ces pièces atteint généralement son maximum quand le pont est ouvert. A ce moment, les deux parties de chaque longeron séparées par le pivot constituent des pièces encastrées à une extrémité, libres à l'autre et chargées, sur leur longueur, à peu près uniformément.

Le pivot, concentrique à la pile, est susceptible de recevoir

Digitized by Google

DEMI-COUPE SUIVANT L'AXE LONGITUDINAL DU PONT

DEMI-COUPE SUIVANT L'AXE TRANSVERSAL DU PONT

Pl. XV. PIVOT DU PONT TOURNANT DIT PONT VERT, SUR L'AA, A SAINT-OMER

Digitized by Google

des dispositions très variées ; celle qui est représentée dans la planche XV et qui est empruntée au pont tournant dit Pont Vert, construit sur l'Aa, à Saint-Omer, est une des plus usitées.

Le pivot proprement dit, pièce de fonte saillante, en forme de tronc de cône, est scellé dans la maçonnerie. Il pénètre à l'intérieur d'une autre pièce de fonte, évidée suivant un tronc de cône de dimensions à peu près identiques et composée elle-même de deux parties : l'une correspondant à la surface latérale du tronc de cône, boulonnée sur le chevêtre ; l'autre correspondant à la base supérieure, formant chapeau et reliée à la précédente par huit forts boulons prisonniers. Dans l'espèce, ce sont les deux entretoises situées de part et d'autre du pivot qui forment le chevêtre ; elles sont réunies par deux autres pièces de même section dirigées parallèlement à l'axe longitudinal du pont, l'ensemble constituant un puits carré sur les quatre faces duquel est boulonnée la pièce de fonte évidée dans laquelle pénètre le pivot proprement dit. En résumé, des trois pièces de fonte qui constituent essentiellement le pivot, la première est fixée aux maçonneries et la deuxième au tablier ; la troisième est amovible et, une fois le tablier mis sur cales, permet toutes les opérations relatives à la pose, au réglage, etc.

Le pivot proprement dite porte, à sa partie supérieure, une lentille en acier concave dans laquelle s'engage une autre lentille également en acier, mais convexe, adaptée au chapeau. En dernière analyse, le tablier repose exclusivement sur ces deux lentilles. Elles sont de rayons différents de manière à réduire presque à un point les parties frottantes sur lesquelles se fait le mouvement de rotation. Un conduit ménagé dans la lentille supérieure, en correspondance avec une ouverture pratiquée dans le chapeau, permet la lubrification des surfaces en contact.

On remarquera que le pivot est encadré de quatre galets, deux transversaux et deux longitudinaux, attachés au tablier et susceptibles de porter sur un chemin de roulement circulaire en fonte scellé dans le couronnement de la pile. Ces

Digitized by Google

galets ont pour objet d'assurer la stabilité du tablier pendant la rotation. Il est indispensable, en effet, qu'il y ait un certain jeu entre la partie mâle et la partie femelle du pivot. Il importe de *limiter* les mouvements qui peuvent en résulter, sans les empêcher complètement cependant, car nous verrons plus loin qu'un certain mouvement de bascule du tablier dans le sens longitudinal est nécessaire pour le fonctionnement du mécanisme de calage.

Une autre disposition de pivot qui nous paraît digne d'être citée est représentée dans la planche XVI (page 84) et dans la figure ci-dessous ; elle est généralement désignée sous le nom de *crapaudine à boulets.*

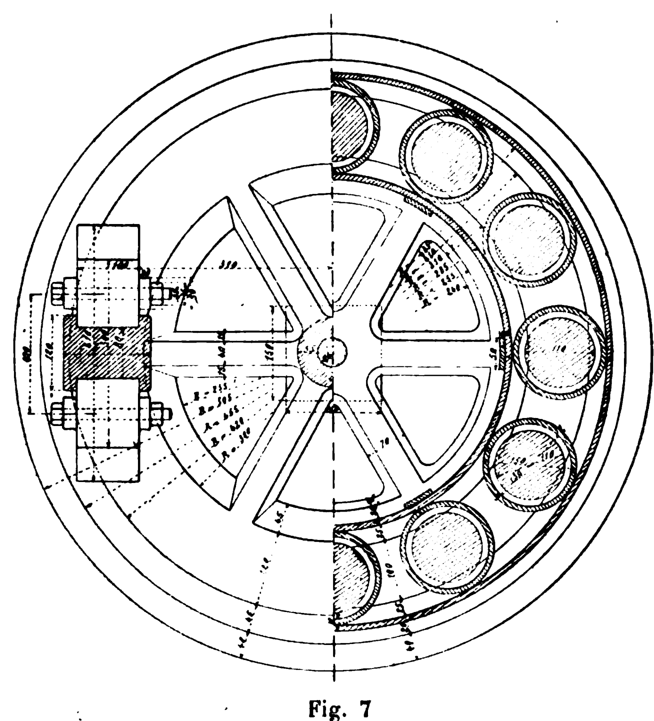
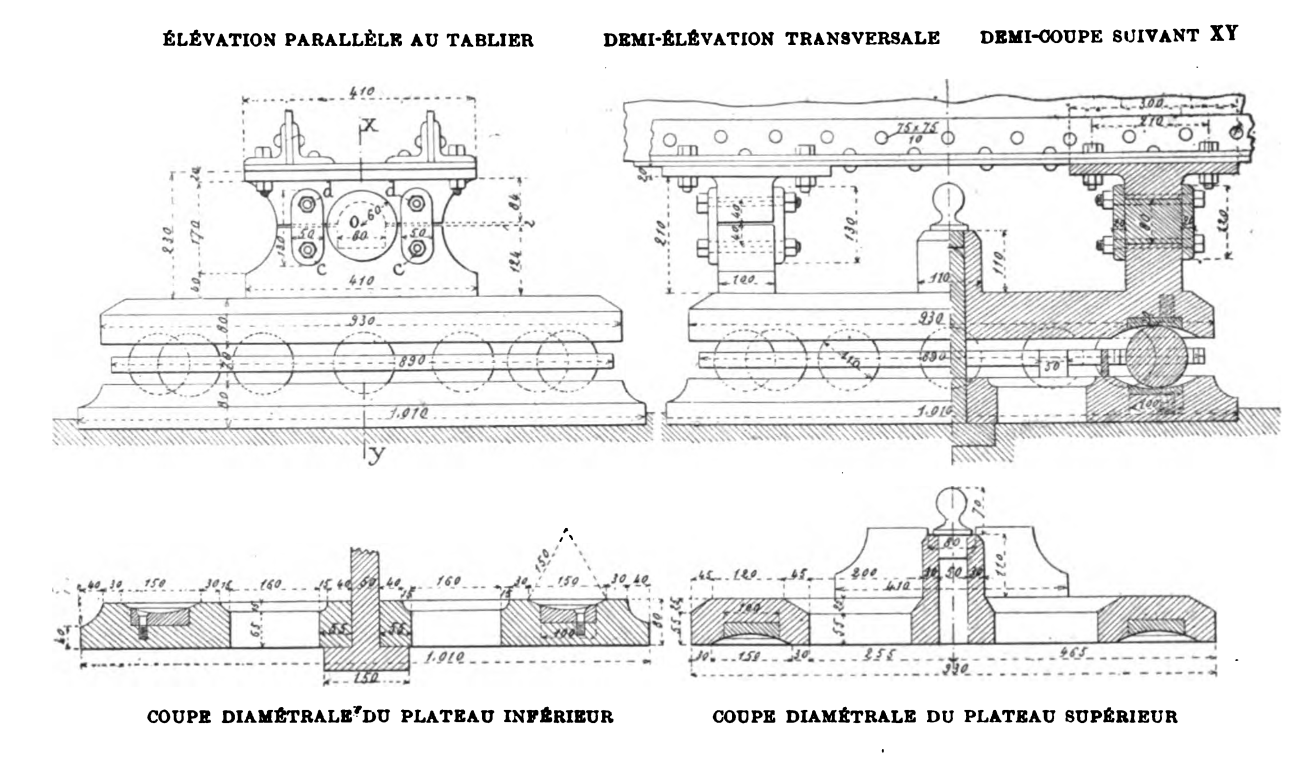


Fig. 7

La crapaudine à boulets se compose essentiellement de deux plateaux en fonte concentriques superposés, l'un fixe, scellé

Digitized by Google



Pl. XVI. CRAPAUDINE A BOULETS

Digitized by Google

dans la maçonnerie, l'autre mobile, supportant le tablier. Entre les deux, douze boulets en bronze roulent dans des gorges annulaires pratiquées respectivement dans la face supérieure du plateau inférieur et dans la face inférieure du plateau supérieur. L'équidistance des boulets est d'ailleurs assurée par une sorte de cage circulaire, concentrique aux plateaux, dans laquelle chaque boulet a sa place marquée.

On remarquera que chaque gorge est doublée d'un chemin de roulement que l'on fait en acier. L'opposition d'un métal très dur au métal très doux des boulets a pour but de faire porter l'usure exclusivement sur ces derniers qui sont faciles à remplacer.

La manière dont le tablier est porté par le plateau supérieur mérite aussi une mention particulière. Le chevêtre est ici formé par une sorte de poutre tubulaire dont les semelles ont 0 m. 41 de largeur. A la semelle inférieure sont boulonnés deux coussinets en fonte correspondant respectivement à deux autres venus de fonte avec le plateau supérieur de la crapaudine. Entre les deux coussinets qui se correspondent est placé un arbre O dont la partie inférieure, engagée dans le coussinet inférieur, a une section rectangulaire et dont la partie supérieure, engagée dans le coussinet supérieur, a une section demi-circulaire. Le coussinet supérieur peut donc tourner autour de cet arbre et, en conséquence, le tablier peut exécuter dans le sens longitudinal un mouvement de bascule. Il est indispensable que ce mouvement puisse se produire, mais il est non moins essentiel de le limiter. C'est l'objet des brides *cd* qui rattachent les deux coussinets correspondants ; les trous dont elles sont percées pour laisser passer les boulons *d* sont légèrement ovalisés ; le mouvement dont nous avons parlé plus haut peut donc se produire, mais on est maître d'en limiter l'amplitude comme l'on veut.

Tout pont tournant doit comporter un système de calage grâce auquel le tablier, quand le pont est fermé, ne repose pas seulement sur le pivot, mais porte aussi par chacune de ses

Digitized by Google

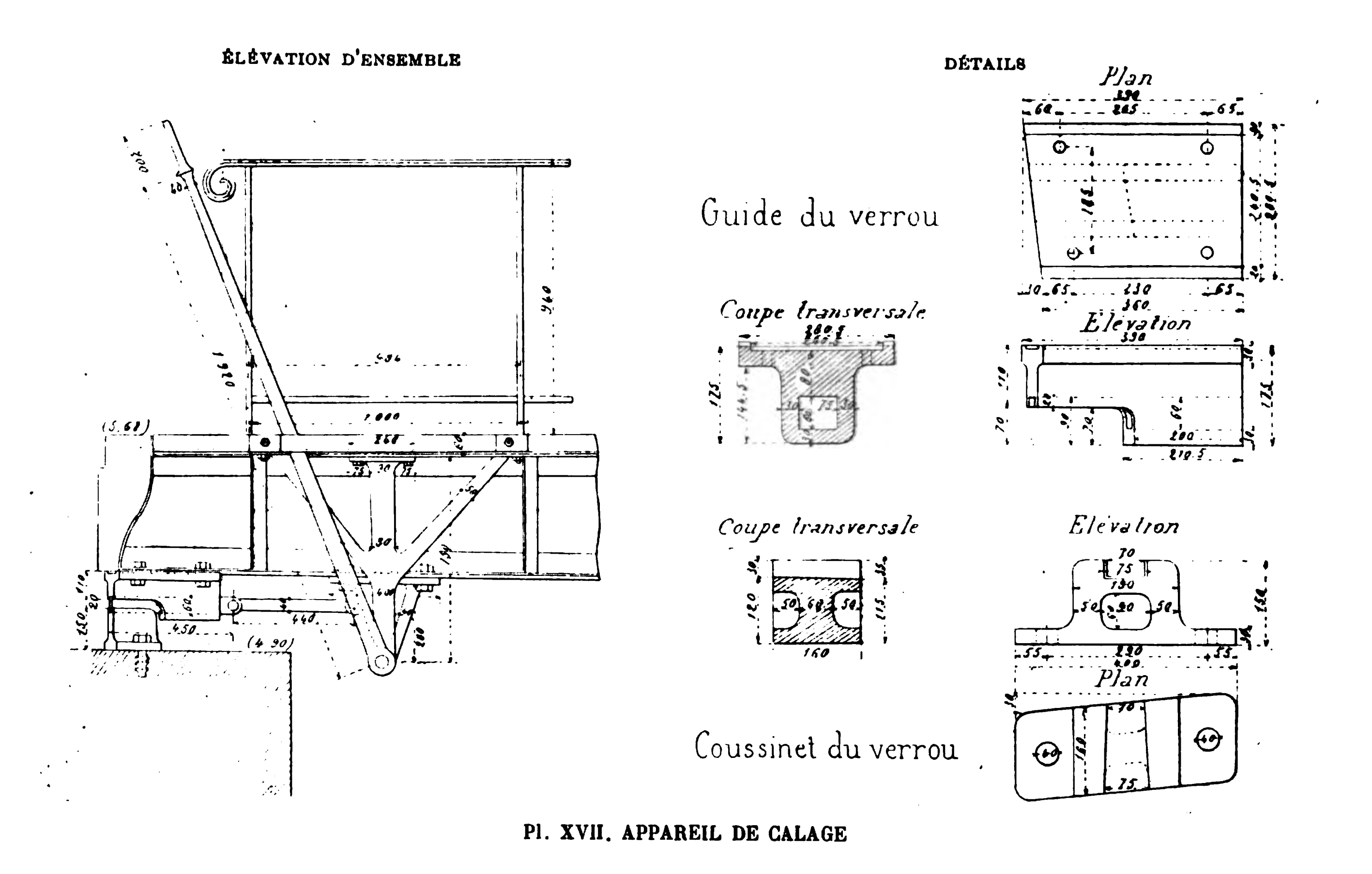
extrémités sur les maçonneries des culées. Lorsque le pont est ouvert, chaque demi-longeron est dans la situation d'une pièce encastrée par une extrémité, libre à l'autre, chargée d'un poids uniformément réparti sur la longueur; c'est alors, en général, que le travail du métal atteint son maximum. Le pont fermé, si le tablier n'était pas calé à ses extrémités, la situation des longerons resterait la même et l'adjonction d'une surcharge pourrait conduire à des efforts excessifs.

Le plus souvent, il n'y a de mécanisme de calage qu'à une extrémité du tablier, l'autre reposant simplement sur les maçonneries de la culée correspondante ou mieux sur des sommiers métalliques disposés à cet effet, lorsque le pont est fermé. Mais alors, lorsqu'on décale le tablier pour ouvrir le pont, il est indispensable que l'extrémité qui porte le mécanisme de calage s'abaisse un peu, tandis que l'autre se relève légèrement et se détache de ses appuis. De là la nécessité du mouvement de bascule dont nous avons parlé plus haut ; pour qu'il se produise spontanément, il suffit d'un léger excédent de poids du côté du mécanisme de calage.

Ce mécanisme peut affecter des dispositions extrêmement variées ; celui qui est représenté dans la planche XVII est emprunté au pont tournant dit Pont Vert, établi sur l'Aa, à Saint-Omer.

A l'extrémité de chaque longeron, sous la semelle inférieure, est boulonnée une pièce de fonte évidée qui sert de guide à un verrou, en forme de coin très allongé, susceptible d'être manœuvré au moyen d'un levier par l'intermédiaire d'une manivelle calée sur le même arbre que ce dernier et par une bielle. Dans une des positions extrêmes du levier, les verrous sont enfoncés à bloc dans des coussinets en fonte scellés sur la culée ; l'extrémité correspondante du tablier est soulevée à la hauteur voulue ; l'autre est appliquée exactement sur les sommiers destinés à la recevoir ; le tablier ne peut plus faire aucun mouvement et le pont est complètement fermé. Dans l'autre position extrême, les verrous sont entièrement dégagés

Digitized by Google



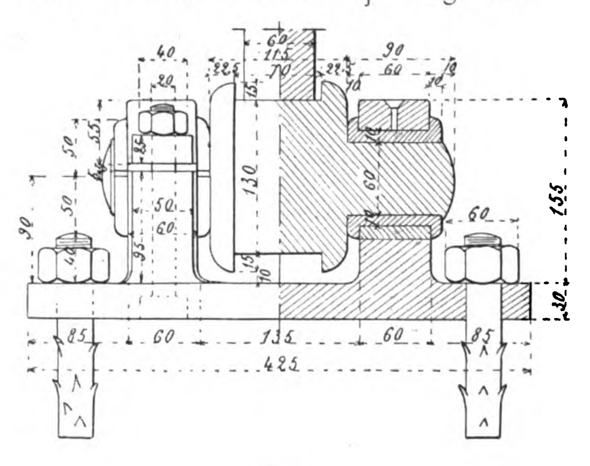
Pl. XVII. APPAREIL DE CALAGE

Digitized by Google

des coussinets ; le tablier fait son petit mouvement de bascule ; rien ne s'oppose plus à sa rotation ; tout est prêt pour l'ouverture du pont.

Un des avantages de ce système est que l'usure, qui se produit inévitablement entre les surfaces frottantes, n'en détruit pas l'efficacité ; au fur et à mesure qu'elle augmente, il suffit d'enfoncer les verrous un peu plus profondément ; la position

Demi-élévation et demi-coupe longitudinales



Plan

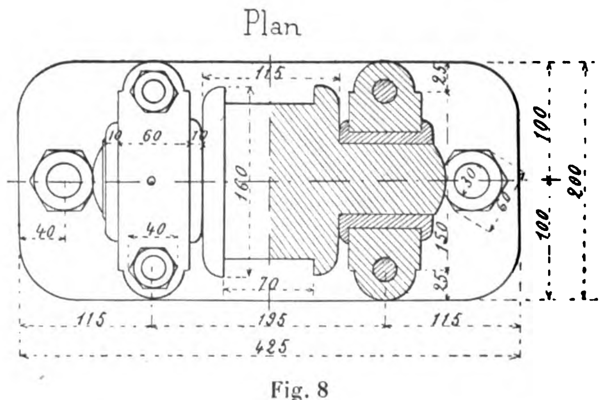


Fig. 8

du levier sur l'arbre de manœuvre doit être déterminée en prévision de cette éventualité.

Digitized by Google

Quelquefois les coussinets sont remplacés par des *galets de calage* (fig. 8). C'est le cas pour le pont tournant de Sévelingues, sur la Lawe.

En ce qui concerne le mécanisme de manœuvre, au moyen duquel on fait tourner le tablier, la planche XVIII (page 90) reproduit le dispositif employé au Pont Vert. Il consiste essentiellement en un train d'engrenages à deux arbres verticaux. L'un des deux se termine à son extrémité supérieure par un carré sur lequel on peut emmancher un levier coudé ; l'autre porte à sa partie inférieure un pignon qui engrène avec un arc denté scellé sur le couronnement de la pile. Un écrou d'arrêt se déplaçant le long de l'arbre de commande limite automatiquement la manœuvre dans les deux sens, les deux positions extrêmes de l'écrou d'arrêt correspondant exactement aux deux positions respectives occupées par le tablier quand le pont est ouvert ou fermé.

Quand le pont est à une seule voie le mécanisme peut être supprimé. La manœuvre se fait plus simplement à la main, à l'aide d'une passerelle métallique tracée suivant un arc de cercle concentrique à celui qui limite la culasse du tablier et reposant : d'une part sur la maçonnerie de la culée ; de l'autre sur l'estacade de protection, par l'intermédiaire d'un pylône également en métal (pl. XIV, page 79).

Nous avons dû nécessairement nous borner à quelques indications sur les différents éléments constitutifs de la superstructure d'un pont tournant. Nous croyons cependant en avoir dit assez pour bien faire comprendre que la construction d'un ouvrage de cette nature comporte beaucoup de détails et demande une attention minutieuse.

40. Pont-levis à flèche. — Les planches XIX et XX (pages 92 et 93) représentent un spécimen d'un type entièrement métallique, étudié avec grand soin et maintes fois appliqué dans le Nord et l'Est de la France ; il comprend essentiellement :

Digitized by Google

(5,68)

1.000

(5.56)

(4.49)

120x80 / 9

Pl. XVIII. APPAREIL DE MANŒUVRE DU PONT VERT. — COUPE LONGITUDINALE

Digitized by Google

1° Un *tablier*, mobile autour de l'axe horizontal *m* de deux tourillons fixés à une de ses extrémités et engagés dans des paliers scellés sur une des culées ; l'autre extrémité du tablier repose sur l'autre culée et y est maintenue par un verrou, tant que le pont reste fermé ;

2° Deux *montants* verticaux, établis un peu en arrière du parement de la culée qui correspond à l'axe de rotation *m* et entretoisés à leur partie supérieure ;

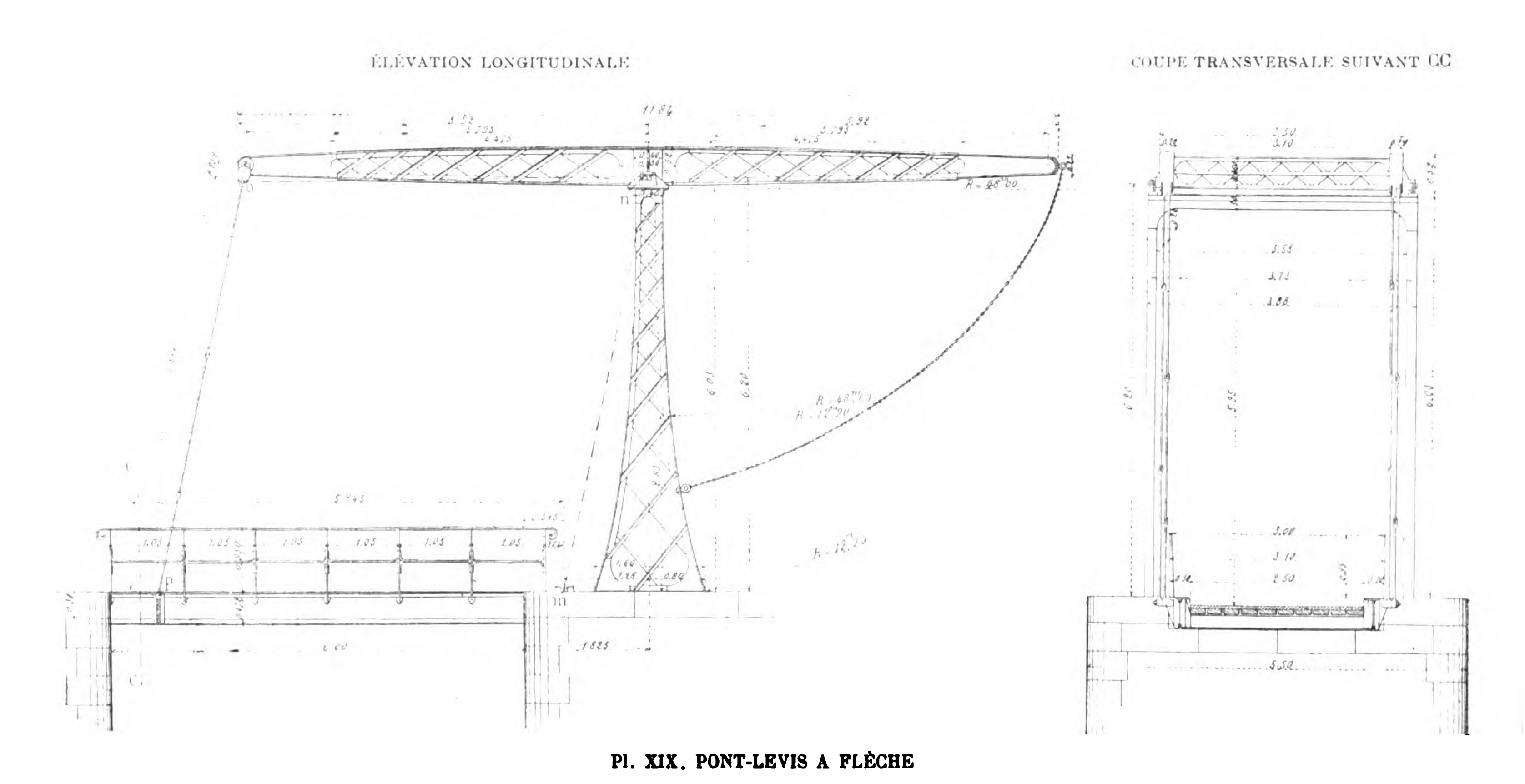
3° Une *flèche*, formée de deux poutres solidaires dont l'ensemble est également mobile autour d'un axe de rotation *n*, parallèle à l'axe *m*. A cet effet, la flèche est munie de tourillons qui s'engagent dans des paliers fixés à la partie supérieure des montants. Des chaînes de suspension *op* relient la flèche au tablier.

Le tablier se compose de deux poutres de rive à âme pleine, reliées par des entretoises qui supportent un double platelage en bois. La chaussée, généralement large de 2 m. 50, est comprise entre les semelles, de 0 m. 30 chacune, des deux poutres de rive; la largeur totale du tablier est donc de 3 m. 10. Dans certains cas, la chaussée est encadrée de deux trottoirs en encorbellement dont la largeur peut atteindre 0 m. 80 ; la largeur totale est alors portée à 4 m. 10.

Les montants, qui servent de support à la flèche, sont en treillis ; à leur partie inférieure ils présentent une semelle en fer méplat qui permet de les fixer à la maçonnerie au moyen de boulons de scellement.

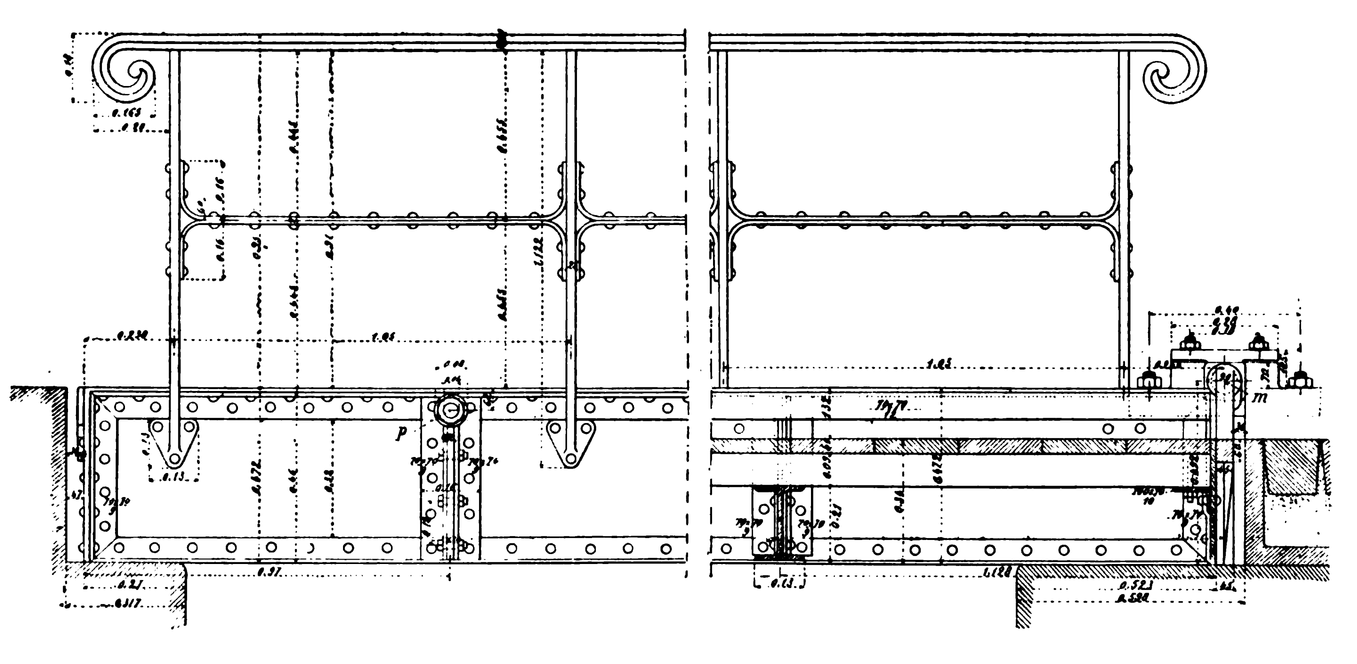
Les deux poutres parallèles qui composent la flèche sont aussi en treillis sur la plus grande partie de leur longueur ; l'âme n'est pleine qu'en leur milieu et aux extrémités. Elles sont entretoisées : à l'extrémité du côté du tablier, par un fer rond qui sert en même temps à l'attache des chaînes de suspension ; au milieu par une poutre en treillis ; à l'extrémité du côté opposé au tablier, par une pièce de fonte creuse servant à la fois de contrepoids principal et de boîte où l'on peut mettre des contrepoids d'appoint.

Digitized by Google



Pl. XIX. PONT-LEVIS A FLÈCHE

Digitized by Google



Pl. XX. PONT-LEVIS A FLÈCHE

Digitized by Google

La maneuvre est des plus simples. S'agit-il de relever le tablier ? On ouvre le verrou qui le retient en place et on tire sur une chaîne fixée à la culasse de la flèche. Veut-on l'abaisser de nouveau ? On l'abandonne à son propre poids, en laissant filer la chaîne et en donnant, au besoin, une légère impulsion, de bas en haut, à la culasse de la flèche. Si à la fin de cette dernière manœuvre le pont est un peu paresseux à la descente, le pontier pèse de son poids sur le tablier et en détermine ainsi l'abaissement complet. Au moment où l'extrémité du tablier opposée à l'axe de rotation vient reposer sur la culée correspondante, le verrou qui doit le maintenir en place se referme automatiquement.

Dans la maneuvre de relèvement, les garde-corps du tablier peuvent venir choquer l'entretoise qui relie les deux montants à leur partie supérieure. Pour rendre ces chocs inoffensifs, l'entretoise en question est munie de deux tampons en caoutchouc convenablement placés.

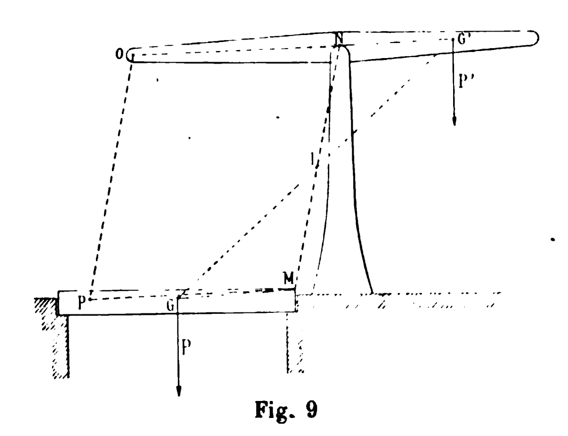


Fig. 9

Pour le bon fonctionnement de l'ouvrage, il faut : 1° que le quadrilatère formé par les quatre points *m*, *n*, *o*, *p*, précédemment définis et marqués sur la planche XIX, soit un parallélogramme ; 2° que le système soit en équilibre dans toutes ses positions, de telle sorte que pour maneuvrer le pont on n'ait à vaincre que les résistances passives.

Digitized by Google

La nécessité de la première condition est évidente *a priori*.

En ce qui concerne la seconde, si on désigne par G et P, G′ et P′ les centres de gravité et les poids respectifs du tablier et de la flèche (fig. 9), il faut et il suffit : 1° que les lignes MG et NG′ soient parallèles ; 2° que les longueurs MG et NG′ soient inversement proportionnelles aux poids P et P′ [1].

Lors de l'établissement d'un pont-levis à flèche, il n'est pas difficile de réaliser les diverses conditions énoncées ci-dessus.

Le parallélisme des lignes MN et OP d'une part, MP et NO d'autre part, est une des données de la construction.

Le métal est d'ailleurs distribué dans le tablier et dans la flèche de telle sorte que les poids respectifs ainsi que les positions des centres de gravité satisfassent aux relations nécessaires. On s'en assure préalablement par le calcul, sauf à procéder à un réglage définitif au moment du montage. Nous avons expliqué plus haut comment le contrepoids fixe de la flèche pouvait recevoir des contrepoids d'appoint au moyen desquels on fait varier à volonté le poids et la position du centre de gravité de cette flèche. Ailleurs, c'est sur le

1. Ces deux conditions étant remplies, il résulte de la seconde que

$$P \times MG = P' \times NG'$$

ou

$$\frac{P}{P'} = \frac{NG'}{MG} .$$

Si nous tirons la ligne GG′, il résulte de la première condition que les triangles IMG et ING′ sont semblables et que l'on a :

$$\frac{NG'}{MG} = \frac{IG'}{IG} = \frac{IN}{IM}$$

d'où

$$P \times IG = P' \times IG'$$

ou encore

$$P \times IM = P' \times IN.$$

Le centre de gravité du système se trouve donc au point I qui partage la ligne MN en deux parties IM et IN inversement proportionnelles aux poids P et P′. Or la ligne MN est immuable ; il s'ensuit que le centre de gravité du système reste, lui aussi, immuable dans toutes les positions successives du tablier et de la flèche et que les résistances passives sont les seules qui soient à vaincre pour manœuvrer le pont.

Digitized by Google

tablier qu'on agit en déplaçant des contrepoids mobiles qui peuvent glisser le long du dit tablier.

Toutefois l'équilibre ainsi établi peut être fréquemment troublé dans un sens ou dans l'autre par les variations de l'état hygrométrique du platelage en bois qui, tantôt s'alourdit à la suite d'une pluie un peu abondante, au cours de laquelle il s'imprègne d'eau, tantôt se dessèche et devient plus léger après une exposition plus ou moins longue au soleil. Le système est assez sensible pour que la manœuvre s'en trouve affectée et qu'il devienne nécessaire de procéder à un nouveau réglage. On remédie à cet inconvénient en substituant au platelage supérieur en bois tendre un tapis formé de câbles d'aloès, ainsi que nous l'avons déjà indiqué plus haut.

On se sert de vieux câbles provenant des mines, qui n'offrent plus assez de garanties de solidité pour être maintenus en service ; on peut donc, dans les pays miniers, les avoir à très bon compte. Ils présentent une section rectangulaire, de 0 m. 25 à 0 m. 30 de largeur sur 0 m. 03 à 0 m. 04 d'épaisseur. On les coupe par tronçons de la longueur voulue, qui peuvent se juxtaposer aussi bien que des madriers. Fortement serrés les uns contre les autres après avoir été soigneusement enduits de goudron, ils constituent une couverture à peu près imperméable sur laquelle l'eau glisse sans pénétrer à l'intérieur. Les platelages ainsi formés ont en outre le double avantage d'être de très longue durée et de bien convenir aux pieds des chevaux. Il n'y a pas à s'étonner que leur emploi se soit généralisé dans la région du Nord, non seulement pour les ponts mobiles, mais jusqu'à un certain point pour les ponts fixes.

Les ponts-levis ne s'adaptent facilement qu'à des passages rétrécis, de 5 m. 20, 6 mètres, 8 m. 20 au plus, ne présentant, par conséquent, qu'une seule voie de bateau ; aussi ne saurait-on en recommander l'emploi en pleine voie sur les canaux à grande fréquentation. Il faut d'ailleurs remarquer qu'ils

Digitized by Google

interceptent forcément le halage sur la rive où sont placés les montants. Ils fournissent une solution très économique et exempte de tout inconvénient pour l'établissement de ponts sur les murs de fuite des écluses, là où le halage ne se pratique que d'un seul côté.

41. Ponts levants. — Nous dirons aussi quelques mots des ponts levants dont le tablier se soulève parallèlement à lui-même de la quantité voulue pour laisser aux bateaux la hauteur libre nécessaire. Nous en donnerons deux spécimens.

Le *pont levant de la rue de Crimée* [1], sur le canal Saint-Denis, à Paris (Pl. XXI, page 99), franchit une passe navigable large de 15 mètres et profonde de 3 m. 20 ; il offre à la circulation routière, extrêmement active sur ce point, une chaussée de 5 mètres de large entre deux trottoirs de 1 m. 20. Quand il est fermé, la hauteur libre au-dessus du niveau normal du canal se réduit à 0 m. 65 ; elle peut s'élever à 5 m. 25 quand le pont est à bout de course ; cette dernière peut donc atteindre 4 m. 60 et dure alors 50 à 80 secondes.

Le pont pèse, avec son tablier, 85 tonnes ; il est équilibré par quatre contrepoids d'angle qui évoluent au-dessous du plan d'eau dans des puits en maçonnerie étanche.

La partie apparente du mécanisme ne comprend que les chaînes, les poulies d'équilibre et leurs supports qui sont des colonnes en fonte d'aspect décoratif.

Le pont étant équilibré, les efforts d'ascension et de descente sont égaux et ne dépassent pas 5 tonnes.

Les organes moteurs sont deux presses hydrauliques placées sous le pont de part et d'autre de la passe et alimentées au moyen d'eau empruntée aux conduites de la ville. Les cylindres sont fixés aux maçonneries des culées et les pistons sont assemblés à demeure au tablier ; le synchronisme néces-

1. *Annales des ponts et chaussées*, 1886, 1er semestre. Note sur la reconstruction du bassin de La Villette et du canal Saint-Denis, par M. Le Chatelier, ingénieur des ponts et chaussées, page 711.

Digitized by Google

saire du mouvement des pistons est assuré de la manière suivante.

Le tablier porte un arbre longitudinal A, qui commande par des couples d'engrenages coniques *a*, *b* et *a'*, *b'* deux arbres transversaux B et B', logés également dans le tablier, mais transversalement et à ses deux extrémités (fig. 10). Aux extrémités des arbres B et B', sont calées dans un plan de pose uniforme des roues d'engrenage cylindrique C. Ces quatre roues engrènent dans des crémaillères solidaires des colonnes qui portent les poulies d'équilibre.

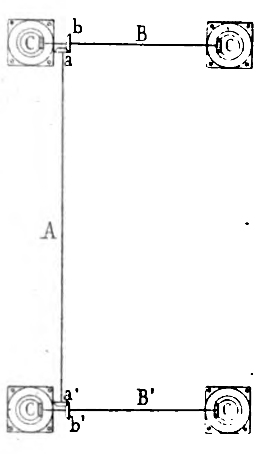


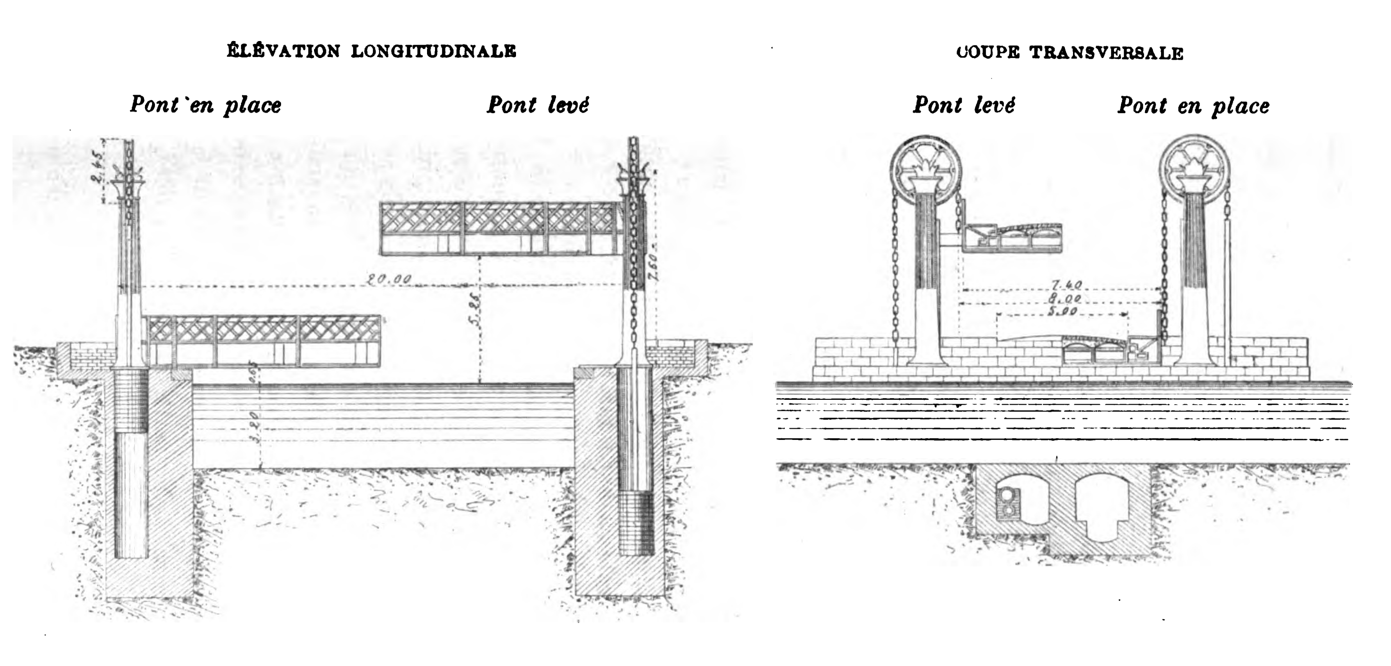
Fig. 10.

On s'est attaché à réduire au minimum les différences de pression entre l'une et l'autre presse et, à cet effet, à réaliser une intercommunication permanente entre les dessous et entre les dessus des pistons ; nous devons nous borner à signaler comme très élégante la disposition adoptée en renvoyant, pour plus de détails, à la note insérée dans les *Annales des ponts et chaussées*.

L'assemblage des pistons avec le tablier se fait au moyen d'articulations qui permettraient au système de se déformer si un guidage n'y mettait obstacle.

Ce guidage se compose de quatre tenons en saillie transversale sur les poutres du pont qui pénètrent et évoluent chacun dans une glissière venue en creux sur chaque colonne. Ces tenons sont réunis deux à deux, à chaque extrémité du pont, en une pièce unique très rigide qu'on a dénommée *brancard* et à laquelle sont attachées les chaînes d'équilibre. Cette disposition a procuré des facilités toutes particulières pour le montage du pont ; en outre, les chaînes d'équilibre sont attelées aux brancards par l'intermédiaire de parachutes

Digitized by Google



Pl. XXI. PONT-LEVANT DE LA RUE DE CRIMÉE, A PARIS

Digitized by Google

destinés à prévenir tout accident en cas de rupture des dites chaînes.

Le pont levant de la rue de Crimée est en service depuis le mois de juillet 1885 ; il n'a jamais cessé de donner toute satisfaction.

Le *pont levant du Larrey*, établi en 1890 sur le canal de Bourgogne, à Dijon, a une portée de 9 m. 80 comprenant une passe navigable de 6 m. 10, un chemin de halage de 2 m. 60 et un marchepied de 1 m. 10 (Pl. XXII) ; il comporte un tablier mobile pouvant être amené à deux niveaux différents par un déplacement vertical. Ce tablier comprend une voie charretière de 4 m. 50 et deux trottoirs de 0 m. 80.

Quand il est au plus bas de sa course, laissant aux bateaux un espace libre de 2 m. 40 seulement au-dessus du plan d'eau, voitures et piétons passent à niveau. Quand, relevé de 1 m. 30, il atteint le haut de sa course, donnant aux bateaux le tirant d'air réglementaire de 3 m. 70, la voie charretière est interrompue, mais les piétons continuent à passer, à la faveur de passerelles latérales à huit marches donnant accès aux trottoirs.

Les déplacements sont produits au moyen d'un compresseur hydraulique, qui fait monter ou descendre les pistons de quatre presses portant le tablier à ses quatre angles. On détermine l'ascension en chargeant le compresseur d'un poids d'eau additionnel. Les manœuvres sont rapides ; le temps d'élever ou d'abaisser le pont ne dure pas 20 secondes. Pour le cas où les engins hydrauliques ne fonctionneraient pas, on a établi un appareil de levage à bras consistant en quatre vis mues avec des leviers comme celles d'un pressoir.

Le lecteur désireux d'avoir plus de détails sur cet ouvrage les trouvera dans une notice de M. l'ingénieur Galliot insérée dans les *Annales des ponts et chaussées*, 1893, 2e semestre, page 261.

42. Systèmes divers. — Il existe bien d'autres systèmes de ponts mobiles :

Digitized by Google

ÉLÉVATION LONGITUDINALE

Pl. XXII. PONT-LEVANT DU LARREY, A DIJON

Digitized by Google

Pont-levis à contrepoids inférieur, manœuvrés au moyen d'engrenages ;

Ponts roulants, qui se déplacent horizontalement dans le sens de leur longueur ;

Ponts coulissants ;

Ponts grues, etc...

Mais ces systèmes répondent plutôt à des cas particuliers qu'à une solution générale du problème des ponts mobiles sur canaux ; nous nous bornons à les signaler pour mémoire.

Disons cependant quelques mots d'un type d'ouvrage extrêmement simple et économique qui consiste en un ponton mobile, large de 3 à 4 mètres, dont la longueur est telle que, lorsqu'il est placé transversalement au canal, il joint, à ses deux extrémités, des murs verticaux en maçonnerie ou de simples estacades en charpentes établis en regard sur les deux rives opposées. Dans cette position, le ponton, solidement amarré aux rives, établit la communication entre les deux, un lest d'eau convenable assurant d'ailleurs son affleurement exact au niveau voulu.

Le passage est habituellement ouvert à la navigation ; le ponton est alors remisé dans un emplacement contigu, ménagé le long de la voie navigable, de manière à laisser entièrement libre la largeur normale du canal.

Des pontons de ce genre ont été établis sur le canal de la Marne au Rhin, le plus souvent par les industriels riverains, en vertu d'une autorisation administrative et pour leur usage particulier. Les uns servent au transport des scories de hauts fourneaux, les autres reçoivent les raccordements qui relient certains établissements industriels aux lignes de chemins de fer dont ils sont séparés par le canal. Les agents de l'administration en font usage toutes les fois qu'ils ont à exécuter, sur un point, des réparations assez importantes pour exiger l'installation d'un passage provisoire à travers le canal.

Il semble que sur des canaux peu fréquentés, et pour donner passage à des voies de communication par terre utilisées

Digitized by Google

seulement de loin en loin, comme par exemple des chemins de défruitement de prairies, ils pourraient avantageusement remplacer des ouvrages fixes ou mobiles d'un établissement beaucoup plus coûteux.

§ 3

PONTS PAR DESSOUS

43. Assimilation aux ponts-canaux. — Le passage d'une route ou d'un chemin par dessous un canal est chose assez rare ; cela suppose, en effet, une hauteur de remblais sous cuvette un peu exceptionnelle. Lorsque le cas se présente, l'ouvrage à construire ne diffère pas sensiblement de ceux qui permettent aux canaux de passer par-dessus les cours d'eau, des *aqueducs* ou des *ponts-canaux* dont nous nous occuperons en détail au chapitre suivant. Nous nous bornerons donc ici à de courtes observations.

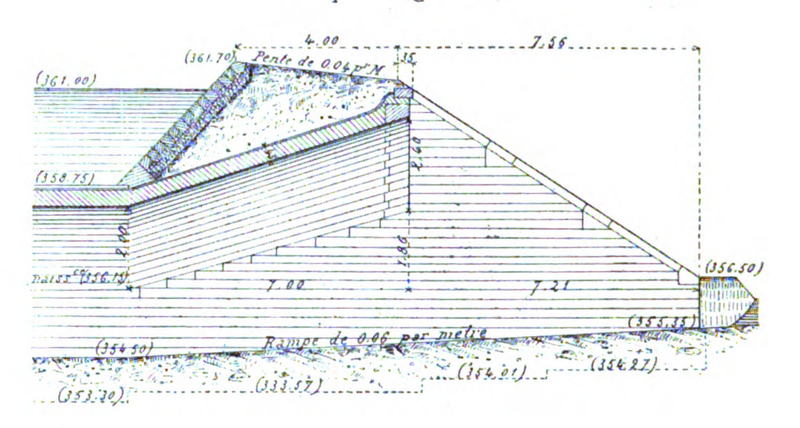
L'ouverture entre culées nécessaire au maintien des communications sur les voies de terre est généralement trop faible pour qu'il y ait intérêt à modifier radicalement la section transversale de la cuvette sur les ouvrages à établir à cet effet. C'est du moins le cas pour les deux qui sont représentés, à titre de spécimens, dans les planches XXIII et XXIV (pages 104 et 105).

Le premier est un passage par dessous avec murs en ailes, du type adopté sur le canal de l'Est à la traversée des Vosges, dans une contrée accidentée où la nécessité de faire passer des routes ou des chemins sous la voie d'eau s'est présentée plus souvent qu'ailleurs.

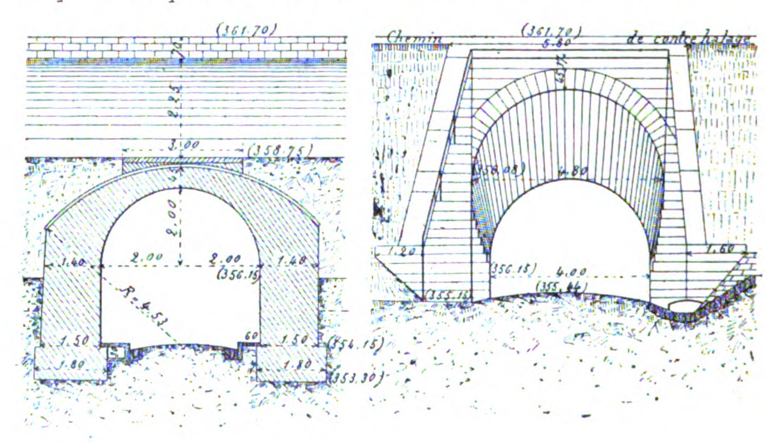
Le second est un passage par dessous avec murs en retour, établi à la rencontre d'une route départementale et du canal latéral à la Loire, près de Saint-Firmin (Loiret) ; il est généralement connu sous le nom de pont-canal en maçonnerie de Saint-Firmin.

Digitized by Google

Coupe longitudinale

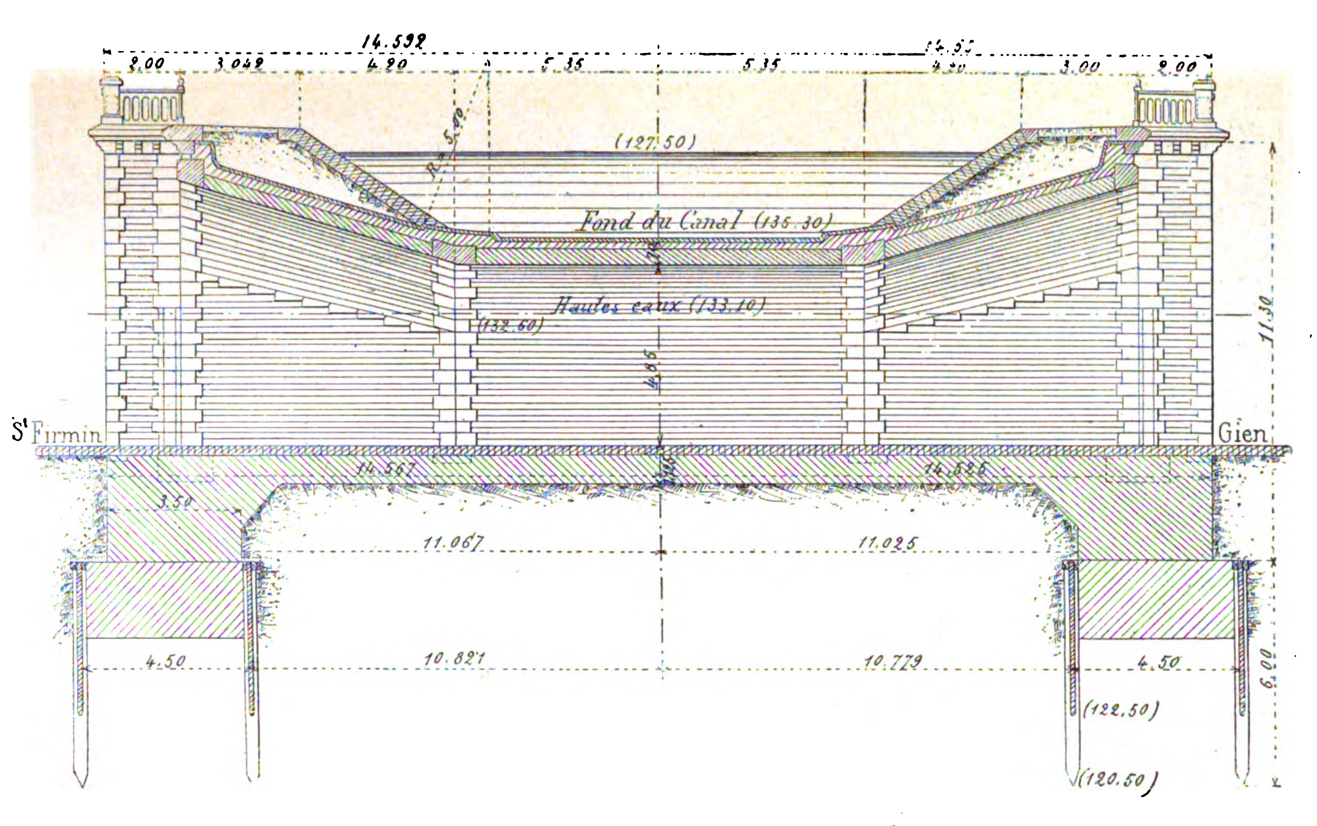


Coupe transvle pr l'axe du Canal. Elévation de la tête amont.



Pl. XXIII. PONT PAR DESSOUS DU CANAL DE L'EST

Digitized by Google



Pl. XXIV. PONT PAR DESSOUS DE SAINT-FIRMIN. — CANAL LATÉRAL A LA LOIRE

Digitized by Google

La disposition caractéristique de l'un et de l'autre consiste dans l'évasement des têtes, qui permet de mieux aérer le passage et d'y donner plus de jour et de lumière que si la section rétrécie adoptée sous le plafond de la cuvette, se prolongeait sur toute l'étendue de l'ouvrage. Cette disposition est pleinement justifiée, attendu que ces passages par dessous, nécessairement fort longs (25 mètres environ au minimum) et exposés aux filtrations provenant de l'eau de la cuvette, sont généralement humides, obscurs et peu commodes pour la circulation routière.

Digitized by Google

CHAPITRE IV

OUVRAGES A LA TRAVERSÉE DES COURS D'EAU

---

§ 1. — *Aqueducs.* — § 2. *Ponts-canaux.* — § 3. *Traversee des rivières à niveau.* — § 4. *Ponts-rivières.*

44. Division du chapitre. — Au début du chapitre précédent, nous avons pu établir une classification des ouvrages à construire à la traversée des voies de communication par terre, en considérant uniquement les niveaux respectifs de ces dernières et du canal.

En ce qui concerne les ouvrages à établir à la traversée des cours d'eau, il y a une nouvelle considération à faire entrer en ligne de compte, c'est celle de l'importance de l'écoulement d'eau qu'il s'agit de maintenir. Tant que cette importance est restreinte, les ouvrages à construire, bien que leurs dispositions puissent varier dans des limites très étendues, sont tous compris sous la dénomination générique d'*aqueducs*.

S'il s'agit, au contraire, de cours d'eau importants, leur traversée donne lieu, selon que le canal les franchit par-dessus, à niveau ou par dessous, à l'établissement de *ponts-canaux*, de *traversées à niveau* ou de *ponts-rivières*.

En conséquence, le présent chapitre est divisé en quatre sections respectivement intitulées : aqueducs, ponts-canaux, traversées à niveau et ponts-rivières.

Digitized by Google

§ 1

AQUEDUCS

45. Ecoulement des eaux pluviales. Reversoirs. — Considérons d'abord les eaux pluviales qui ruissellent à la surface du coteau ; ainsi que nous l'avons expliqué plus haut (page 8), elles sont recueillies dans un contre-fossé. Pour s'assurer qu'ainsi recueillies elles pourront avoir un écoulement convenable, il est indispensable, quand on fait une étude de canal, de dresser le profil en long des contre-fossés. Sans doute la précaution est toujours utile même pour une route ou un chemin de fer ; mais quand il s'agit d'un canal, on ne saurait impunément s'en affranchir. Et bien que l'obligation s'applique plus spécialement au contre-fossé du côté du coteau, l'étude attentive de l'autre contre-fossé ne présente pas moins un sérieux intérêt, ne fût-ce que pour empêcher la stagnation des eaux de filtration que laissent souvent échapper les digues de canal en remblai.

Les eaux pluviales ainsi recueillies dans les contre-fossés, auxquelles on peut sans inconvénient joindre celles de tout petits ruisseaux, sont alors, soit déversées dans le canal quand la tenue des biefs est à un niveau suffisamment bas, soit conduites à l'aqueduc le plus voisin qui passe sous la voie navigable.

La première solution ne peut s'appliquer qu'au cas d'eaux peu abondantes et surtout assez claires pour ne créer ni envasements ni dépôts. L'ouvrage d'introduction des eaux, appelé souvent *reversoir*, est, d'ailleurs, extrêmement simple et économique ; il se réduit à un petit dalot, à une ou plusieurs ouvertures, ménagé sous le chemin de halage (fig. 11).

Tout en usant avec modération de ce procédé, il ne faut pas le proscrire d'une manière aussi absolue qu'on l'a fait autre-

Digitized by Google

fois sur quelques canaux ; il peut rendre des services et dispenser dans certains cas de la construction d'ouvrages dispendieux. Mais quand on y a recours, il est toujours prudent de

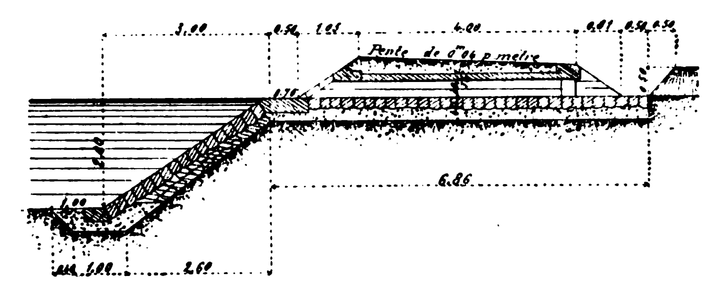


Fig. 11

ménager, en amont de l'ouvrage d'introduction des eaux un bassin de décantation où les matières en suspension puissent se déposer et, en outre, d'abaisser d'une cinquantaine de centimètres le plafond du canal au droit de cette introduction et sur une certaine longueur à l'amont et à l'aval.

46. Aqueducs ordinaires. — Quand les eaux sont plus abondantes, quand les cours d'eau traversés ont un débit plus considérable, il faut leur donner passage sous le canal au moyen d'ouvrages appropriés; ce sont les *aqueducs*. Mais on ne perdra pas de vue que ces ouvrages, même en apparence les plus modestes, doivent généralement avoir une grande longueur et être fondés à un niveau assez bas, si bien qu'ils sont presque toujours d'un prix élevé et qu'il importe de réduire leur nombre au strict nécessaire.

Quoi qu'il en soit, ces aqueducs, auxquels on donne des dimensions transversales en rapport avec le volume d'eau qu'ils doivent écouler, sont de simples ponceaux, dont la construction n'offre rien de particulier lorsque les niveaux respectifs du canal et du ruisseau sont tels que le croisement puisse s'opérer sans difficultés, c'est-à-dire quand le plafond du canal est à une hauteur suffisante au-dessus du fond du ruisseau.

Digitized by Google

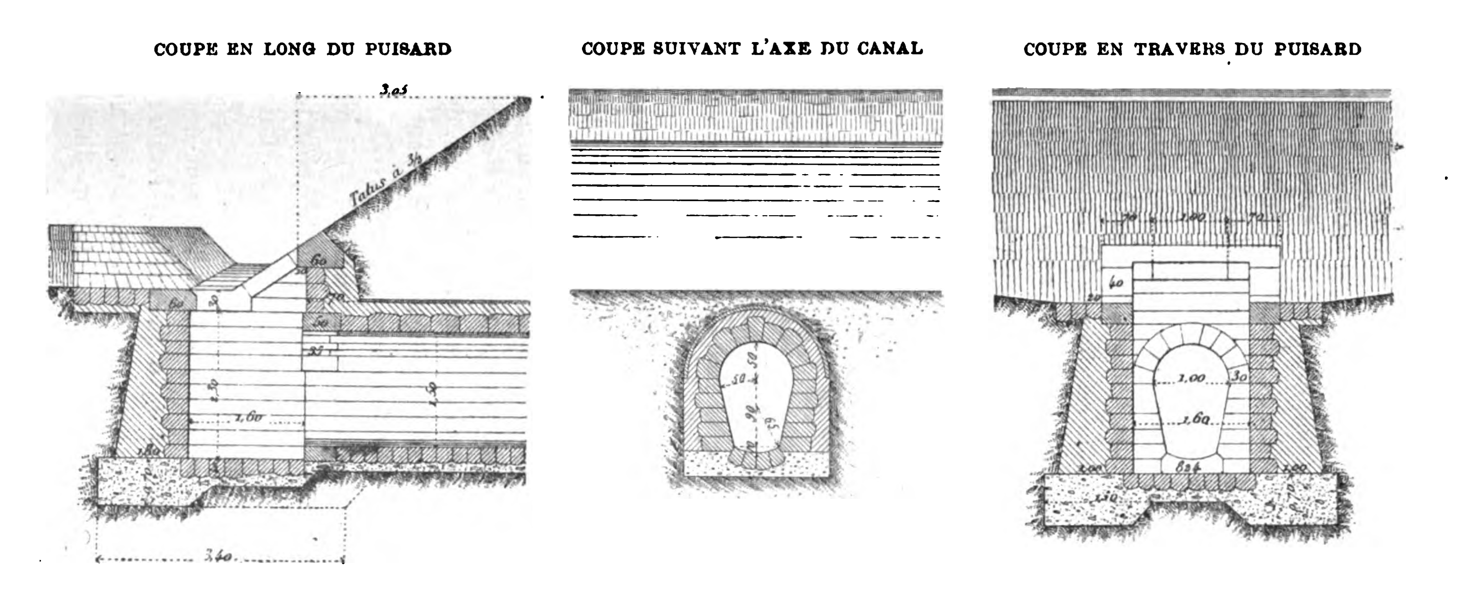
47. Aqueducs-siphons. — Dans le cas contraire, lorsque le plafond du canal est très voisin du fond du cours d'eau naturel ou même se trouve à un niveau inférieur, des dispositions et des précautions spéciales sont nécessaires. L'aqueduc fait siphon ; la voûte reste toujours noyée et le radier doit être placé plus bas que ne le sont naturellement les portions du lit du cours d'eau situées en amont et en aval.

La planche XXV représente les parties essentielles d'un aqueduc-siphon de petites dimensions, d'un type tout à fait courant. L'aqueduc proprement dit est compris entre deux puisards ; l'eau descend par l'un et remonte par l'autre. Ces puisards ont leur plafond un peu au-dessous du radier du corps de l'aqueduc de manière à empêcher que les pierres et les gros graviers ne soient entraînés dans le passage rétréci. Toutes les fois que la chose est possible il convient que les dimensions de ce passage soient telles qu'un homme y puisse circuler ; on se réserve ainsi de grandes facilités pour l'entretien et les réparations.

Lorsque la disposition des lieux permet de substituer une pente et une contre-pente aux chutes des puisards (c'est le cas de l'ouvrage figuré dans la planche XXVI, page 113), il est souvent préférable d'adopter ce mode de raccordement, parce qu'il facilite beaucoup l'extraction des dépôts qu'amènent les crues, notamment après les orages. Il est à peine utile d'ajouter que, si en creusant un peu le lit du cours d'eau à l'aval, il était possible d'éviter la contre-pente elle-même, la solution serait encore meilleure ; dans ce cas, d'ailleurs, l'aqueduc ne ferait plus siphon.

Les aqueducs-siphons peuvent quelquefois constituer des ouvrages importants. La planche XXVI donne une idée des dispositions adoptées sur le canal de l'Est à la traversée du canal de fuite de l'usine de Vilosnes. Cette usine absorbe tout le débit d'étiage de la Meuse, soit environ 5 à 6 mètres cubes par seconde, auxquels l'ouvrage doit livrer passage sans créer aucun remous préjudiciable à la marche de l'usine. Construit

Digitized by Google



Pl. XXV. AQUEDUC-SIPHON EN MAÇONNERIE

Digitized by Google

en 1878, il a fonctionné depuis cette époque d'une manière irréprochable. La longueur totale de l'ouvrage est de 33 m. 23 ; le massif de fondation a 8 m. 90 de large et descend à 5 m. 55 au-dessous du niveau de la retenue du canal ; la dépense s'est élevée à 38.000 francs en nombre rond.

La voûte d'un aqueduc-siphon peut être soumise à deux genres d'efforts différents. Lorsque le canal est plein et le cours d'eau à l'étiage, la voûte est chargée de haut en bas et résiste comme le font habituellement les voûtes. Quant au contraire le canal est vide et le cours d'eau en crue, il y a sous-pression et la voûte tend à se soulever. Il faut alors que son poids, joint à celui des remblais qui la surmontent, fasse équilibre à cette sous-pression ; car on ne peut guère compter sur l'adhérence des mortiers dans la maçonnerie ordinaire. Tout au plus aurait-on, dans une certaine mesure, droit de compter sur cette adhérence si l'aqueduc était formé par un massif de bon béton, pilonné sur moule et offrant alors, indépendamment de son poids, une résistance analogue à celle d'un tuyau monolithe.

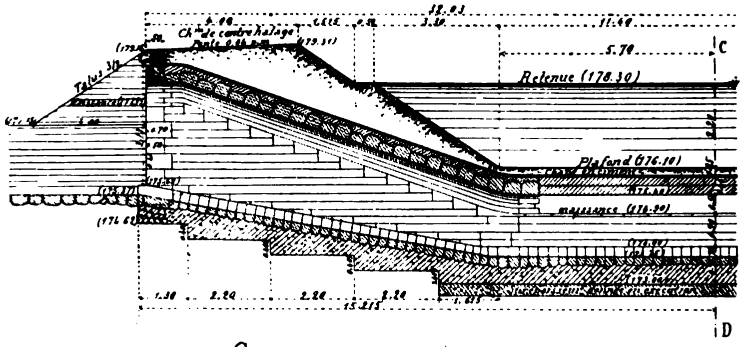
48. Observations applicables aux différents types d'aqueducs en maçonnerie. — Les têtes des aqueducs peuvent présenter des murs en retour ou des murs en aile. Les murs en retour sont ordinairement préférés, parce qu'ils s'opposent mieux aux filtrations qui tendent à s'établir à la jonction des terres et de la maçonnerie. En tout cas, des rainures à poutrelles sont très utiles pour permettre l'établissement de batardeaux et la mise de l'ouvrage à sec.

A moins de circonstances exceptionnelles, il convient de relier les deux culées par un radier, radier qui se terminera à chaque extrémité par un parafouille, toutes les fois que le sol sera de nature à inspirer quelques craintes.

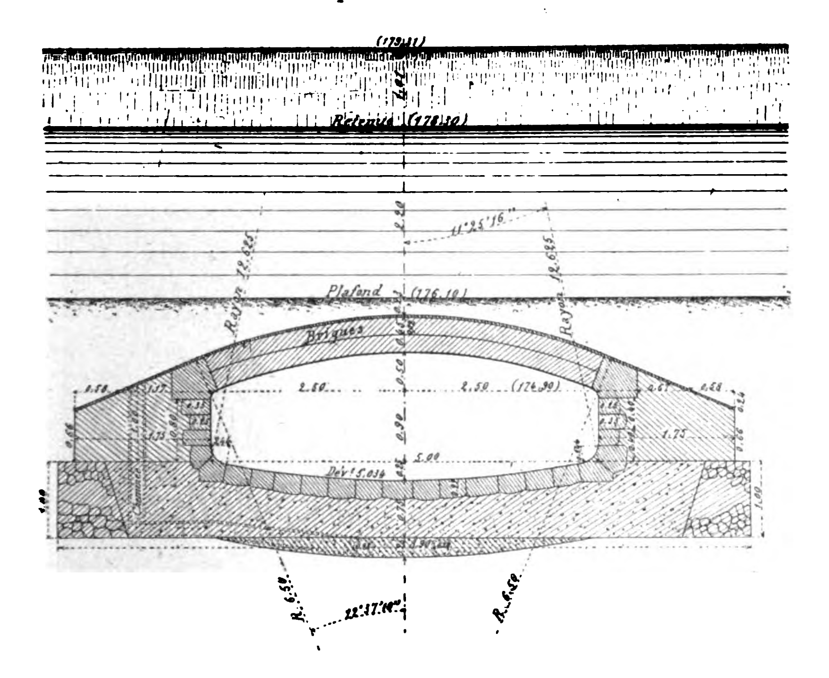
Ainsi que nous l'avons déjà dit, la longueur des aqueducs est forcément grande, attendu que sur ces ouvrages il importe de conserver la section tranversale du canal sans changement ou du moins de n'y apporter que des modifications sans

Digitized by Google

Coupe longitudinale



Coupe suivant CD



PL. XXVI. SIPHON DE VILOSNES

Digitized by Google

importance qui ne puissent gêner le croisement des bateaux. Sur quelques canaux, dans un but d'économie, on avait, pour diminuer la longueur des aqueducs, réduit à une seule voie de bateau la largeur de la cuvette au-dessus de ces ouvrages. Mais il résulte de ces rétrécissements une gêne si considérable qu'on y a renoncé et qu'on élargit partout aujourd'hui, sur les points où ces errements avaient été suivis.

La section transversale à adopter doit être en rapport avec la quantité d'eau à écouler ; cela va sans dire ; quant à sa forme, elle dépend entièrement des circonstances locales et des matériaux dont on dispose. Celle qui est indiquée sur la planche XXV est à préférer, quand la hauteur libre permet de la choisir. Lorsque cette hauteur est insuffisante, on a recours à d'autres dispositions.

On peut employer, comme on l'a fait sur le canal de l'Est (fig. 12), des passages dallés avec un nombre d'ouvertures suffisant. Seulement, il est utile d'ancrer les dalles, au

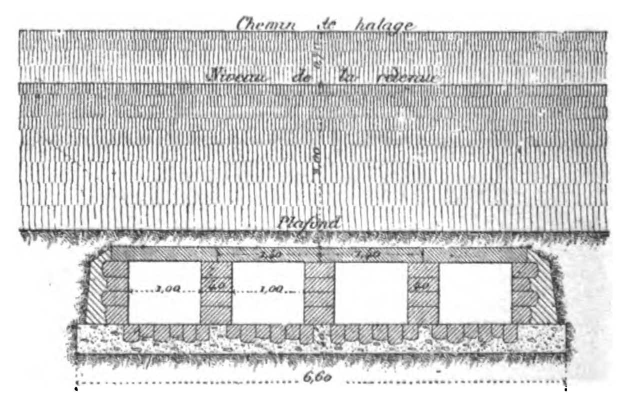


Fig. 12

moyen de tirants en fer, aux piles et aux culées, afin de leur permettre de résister à la sous-pression quand l'aqueduc siphonne et que le canal est à sec.

Au canal de l'Aisne à la Marne, on a employé au lieu de dalles en pierre, des plaques en fonte, également scellées aux

Digitized by Google

piles et aux culées. Ces plaques exigent moins de hauteur et permettent des portées plus considérables, mais elles coûtent notablement plus cher.

On peut aussi se servir de voûtes très surbaissées, telles que celles du siphon de Vilosnes ou celles employées au canal des houillères de la Sarre (fig. 13).

Toute forme est convenable, pourvu qu'elle satisfasse à deux conditions qui ne doivent jamais être perdues de vue,

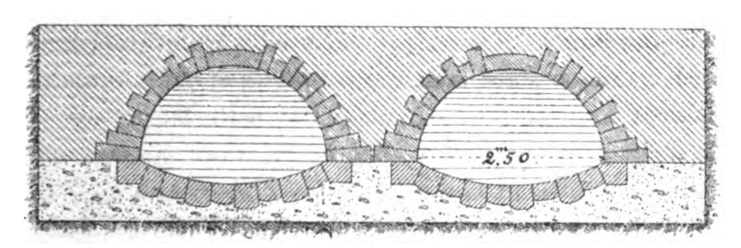


Fig. 13.

quand on projette ces ouvrages : la première, c'est la facilité d'entretien ; la seconde, c'est la possibilité d'une augmentation du mouillage du canal.

Il faut toujours s'attendre à cette dernière éventualité et, dans ce but, si la disposition des lieux ne permet pas de relever ultérieurement le plan d'eau, on doit se ménager la possibilité d'abaisser le plafond, en plaçant les ouvrages fixes, tels que les aqueducs, non pas exactement à la cote du plafond, mais un peu en dessous, soit 0 m. 20 ou 0 m. 30 au moins plus bas.

49. Emploi de conduites métalliques. — Telles sont les conditions que doivent remplir les aqueducs en maçonnerie ; elles sont assez complexes pour qu'on leur ait souvent substitué des conduites en fonte ou même en tôle. On y trouve de nombreux avantages. D'abord ces conduites résistent également bien dans les deux sens, de telle sorte qu'on n'a plus à se préoccuper de la sous-pression. La réduction des dimen-

Digitized by Google

sions verticales de l'ouvrage permet de relever le niveau des fondations. Enfin les buses métalliques, d'une étanchéité parfaite, présentent des parois lisses et résistantes contre lesquelles l'écoulement de l'eau peut se faire à des vitesses considérables sans aucun inconvénient.

Les conduites les plus usitées sont en fonte, à section circulaire, et dépassent rarement le diamètre de 1 mètre, quoiqu'on en ait fait de beaucoup plus grandes. Il est préférable d'en juxtaposer plusieurs, en nombre suffisant pour assurer l'écoulement des eaux à débiter ; leurs têtes débouchent alors dans un aqueduc unique placé sous chaque digue et qui communique librement avec le puisard voisin. De cette façon, ces têtes sont facilement accessibles et la longueur du passage rétréci se trouve réduite à son minimum. Ces dispositions sont celles de l'ouvrage représenté dans la planche XXVII, ouvrage d'un type courant.

Les tuyaux sont posés sur un radier général en béton, parfois même enveloppés d'une couche de béton ou recouverts d'un briquetage posé à plat, qui les protège contre les coups de gaffe, quand ils sont très rapprochés du fond de la cuvette. Les joints sont exécutés avec les mêmes soins que dans le cas d'une distribution d'eau, c'est-à-dire coulés au plomb et matés, mais les tuyaux n'ont pas besoin d'offrir la même résistance, car ils sont loin d'avoir à supporter les mêmes pressions. La formation d'un joint étanche à la jonction du métal et de la maçonnerie demande en général des soins spéciaux. C'est un sujet sur lequel nous nous réservons de revenir en parlant des ponts canaux. Disons seulement ici qu'en l'espèce il n'a pas une bien grande importance, les aqueducs n'ayant pas une longueur comparable à celle des ponts-canaux et étant soumis à de moindres variations de température, surtout lorsqu'ils siphonent et sont, par suite, constamment noyés.

Enfin, il y a lieu, quand le diamètre est inférieur à 1 mètre, de placer une chaîne dans chaque conduite, de façon à pouvoir, après les orages ou les crues, faire passer un hérisson

Digitized by Google

COUPE LONGITUDINALE

Pl. XXVII. AQUEDUC-SIPHON EN CONDUITES MÉTALLIQUES

Digitized by Google

d'une tête à l'autre et s'assurer périodiquement que les eaux trouvent leur passage. Ce n'est là qu'un petit détail de construction, mais il est essentiel et son omission peut donner lieu à bien des embarras.

50. Siphon de la Hayne à Condé. — Le siphon au moyen duquel la rivière de Hayne passe au-dessous de l'Escaut canalisé, à Condé, offre un remarquable exemple de l'emploi du métal.

Ses dimensions sont exceptionnelles ; lors des grandes crues de la Hayne, il doit faire face à un débit d'environ 50 mètres cubes à la seconde. Il est constitué par cinq conduites juxtaposées, de 2 m. 80 de diamètre intérieur (pl. XXVIII) présentant ensemble un débouché de 30 mq 80.

Chaque conduite se compose d'une enveloppe en tôle mince et d'un revêtement intérieur en maçonnerie de briques L'épaisseur de la tôle, prévue de 0 m.005, a été portée à 0 m. 007 en exécution ; le diamètre intérieur de l'enveloppe est de 3 m. 28 ; l'épaisseur du revêtement de 0 m. 24 (fig. 14). En cours d'exé-

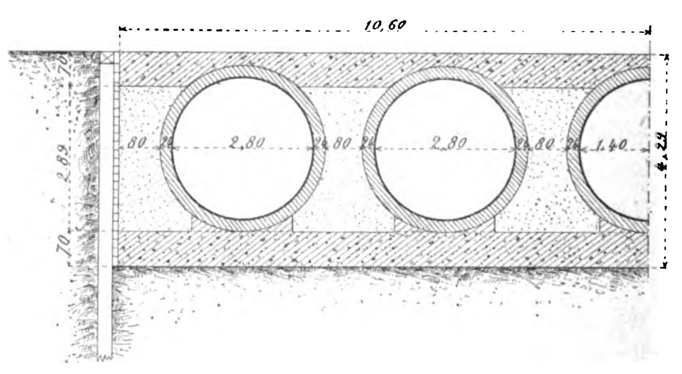
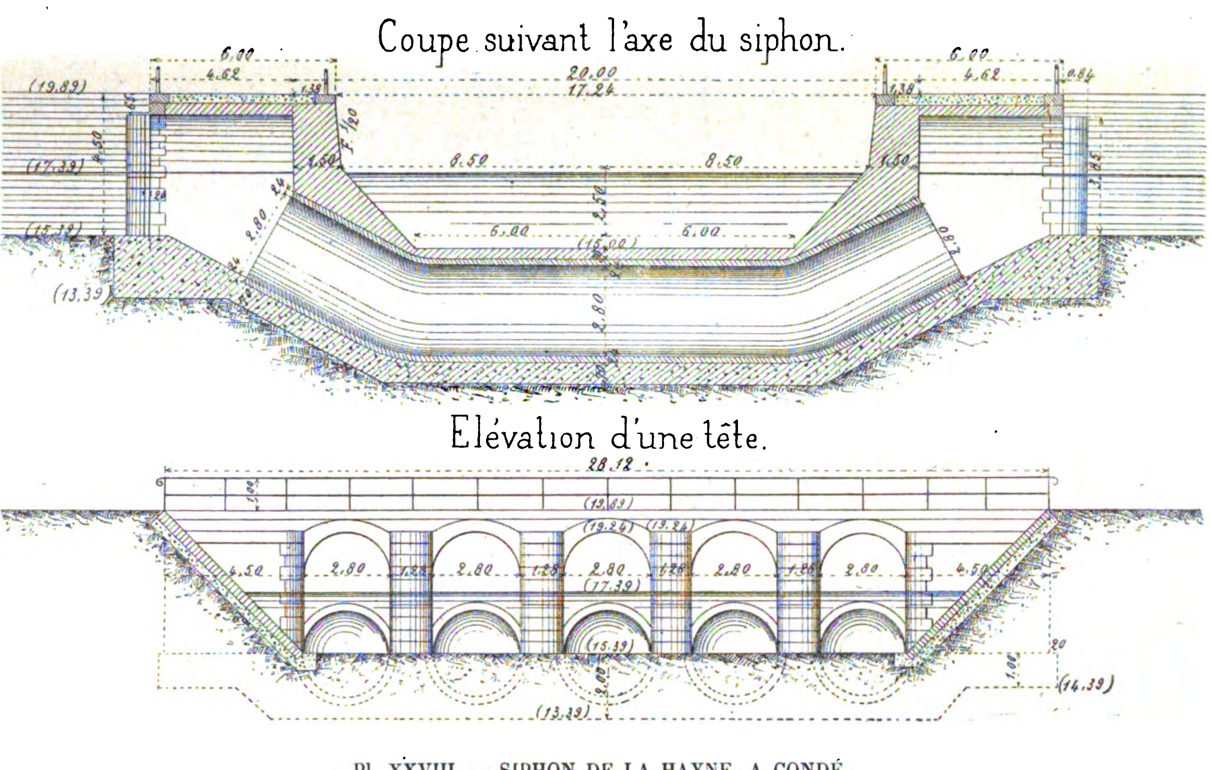


Fig. 14

cution, et jusqu'à ce que l'application du revêtement en maçonnerie eût donné à la conduite sa résistance définitive, l'enveloppe était soutenue à l'intérieur par un contreventement provisoire formé de croix de Saint-André en fers cornières espacées de mètre en mètre. Après l'exécution de la

Digitized by Google



Pl. XXVIII. — SIPHON DE LA HAYNE, A CONDÉ

Digitized by Google

maçonnerie les croix de Saint-André étaient enlevées, et on peut même dire que l'enveloppe en tôle devenait sans intérêt; elle pouvait s'oxyder et disparaître sans réel inconvénient.

Les conduites sont posées sur un lit de béton, entourées de sable et recouvertes d'un lit supérieur de béton affleurant le plafond de la voie navigable (fig. 14). Une double ligne de pieux reliés du côté des conduites par des madriers horizontaux formant vannage défend du côté d'amont et du côté d'aval le massif dans lequel sont engagées les cinq conduites.

Construit en 1886 et 1887 le siphon de la Hayne n'a cessé, depuis cette époque, de donner toute satisfaction ; la dépense de premier établissement s'est élevée à 150.000 francs, en nombre rond.

51. Nécessité de ne pas réduire outre mesure le nombre des aqueducs. — Nous avons dit plus haut que ces ouvrages étaient dispendieux et que, par conséquent, il y avait intérêt à en réduire le nombre, mais cependant il ne faut pas hésiter à en établir *partout où cela est nécessaire*.

Lors de la construction du canal de Roanne à Digoin, on avait, par mesure d'économie, évité d'établir un certain nombre d'aqueducs en recevant dans le canal les eaux de sources interceptées et en restituant aux usagers de ces sources un volume équivalent emprunté au canal. Il en est résulté les plus graves difficultés administratives. Les traités passés dans ces conditions, relativement à des eaux susceptibles de propriété privée qu'on échangeait en quelque sorte contre des eaux appartenant au Domaine public, ont donné lieu à des procès, où les juridictions n'ont pu être nettement établies et où l'intérêt particulier a aisément pris le dessus. Il est prudent d'éviter ces confusions. On adoptera donc des dispositions telles que les intérêts de l'Etat soient, partout et toujours, nettement séparés de ceux des riverains.

C'est sous cette réserve expresse que doit être pris le conseil donné plus haut (page 108) de rejeter les eaux dans le canal,

Digitized by Google

lorsque les autres conditions le permettent. Si ces eaux sont utilisées pour des irrigations ou pour tout autre usage industriel ou agricole, il ne faut pas hésiter, même au prix d'un surcroît de dépense, à les faire passer par un aqueduc sous la cuvette du canal.

52. Déversoirs de superficie. — C'est généralement au-dessus des aqueducs, et pour profiter comme exutoires des cours d'eau auxquels ils donnent passage, qu'on place les ouvrages destinés à maintenir le plan d'eau du canal à son niveau normal (*déversoirs de superficie*), ou à en assurer la vidange (*déversoirs de fond*).

Il est à peine besoin de signaler les inconvénients qui résulteraient d'une surélévation accidentelle notable du plan d'eau : les portes d'écluse seraient surmontées, ce qui ne laisse pas de gêner toujours les manœuvres d'éclusage; les digues n'offriraient plus aux propriétés riveraines la même protection contre les infiltrations ; la hauteur libre sous les ponts deviendrait insuffisante ; les chemins de halage pourraient être noyés partout où une raison quelconque a conduit à rapprocher leur niveau de celui du plan d'eau dans le canal. L'utilité des déversoirs de superficie n'est donc pas à démontrer ; celle des déversoirs de fond non plus d'ailleurs. Il est bien évident qu'on doit se ménager la faculté de vider entièrement tout ou partie du canal pour y exécuter des travaux, le cas échéant.

Un déversoir de superficie est un ouvrage extrêmement simple. Il consiste en une coupure de la digue du canal, garnie d'un radier et limitée, du côté opposé à la cuvette, par un mur de chute.

C'est par-dessus ce mur que les eaux surabondantes du bief se déversent dans une rigole qui les dirige ensuite vers un des ruisseaux traversant le canal. La coupure est recouverte d'un aqueduc qui assure la continuité du halage et l'ouvrage est tout à fait analogue au reversoir décrit et figuré plus haut (pages 108 et 109).

Digitized by Google

Mais en général, on préfère établir des ouvrages qui servent à la fois de déversoirs de superficie et de déversoir de fond et on les place au-dessus des aqueducs de manière à réduire le nombre des ouvrages et à utiliser directement les ruisseaux pour l'évacuation des eaux.

58. Déversoirs de fond et de superficie. — Les formes et les dimensions des déversoires de fond servant en même temps de déversoirs de superficie varient suivant la disposition des lieux et le volume d'eau à écouler. Tantôt, c'est une simple baie, fermée par des vannes ou des poutrelles, dont le seuil est à quelques centimètres en dessous ou au plus au niveau du plafond du canal ; les vannes ou les poutrelles sont arasées au niveau normal de la tenue du bief et c'est à leur partie supérieure qu'a lieu le déversement. Telles sont les dispositions de l'ouvrage représenté dans la planche XXIX et dans la figure 15 (coupe transversale suivant la ligne GH de

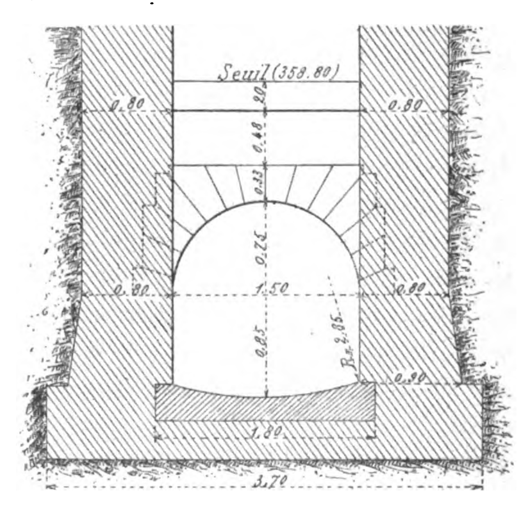
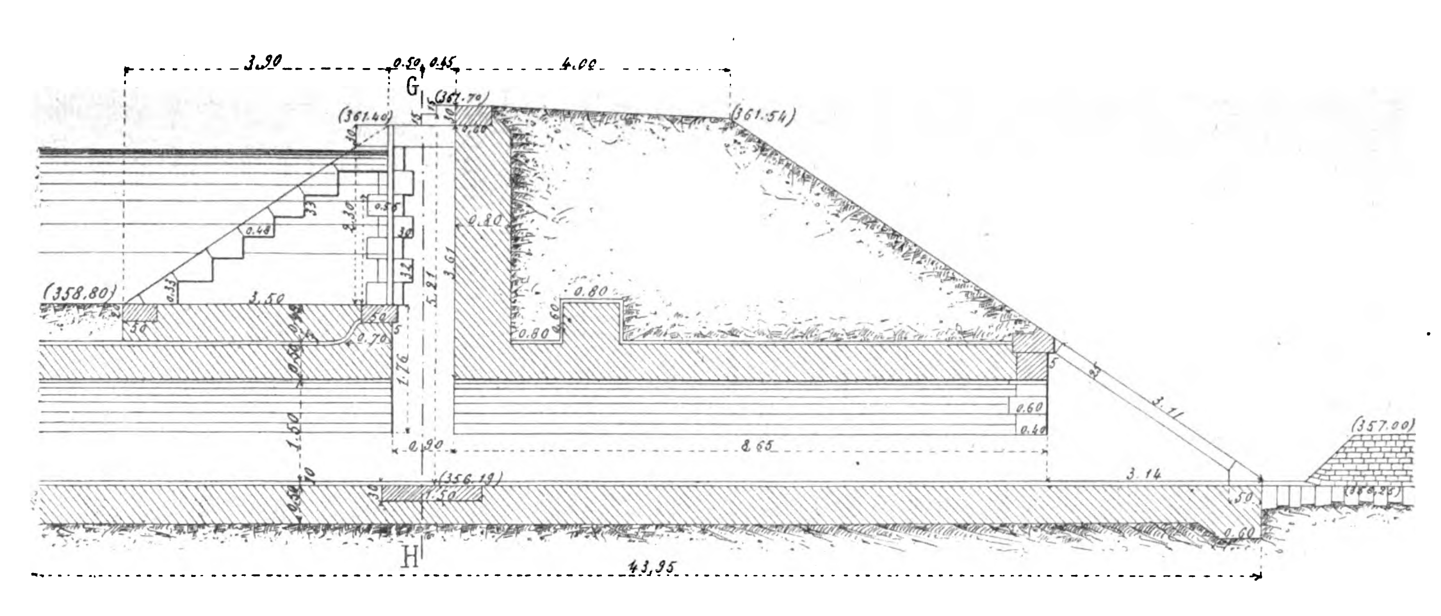


Fig. 15

la planche). Tantôt plusieurs orifices sont garnis de vannes, tandis qu'une coupure horizontale juxtaposée règne à la hauteur de la retenue.

Digitized by Google

COUPE LONGITUDINALE



Pl. XXIX. AQUEDUC AVEC DÉVERSOIR DE FOND ET DE SUPERFICIE

Digitized by Google

Ces dispositions sont subordonnées à celles de l'ouvrage d'art sur lequel se place le déversoir. La seule condition essentielle, c'est que la fermeture, quelle qu'elle soit, soit très soignée, afin d'éviter les déperditions.

La superposition de ces déversoirs au-dessus des aqueducs offre encore un avantage, c'est de permettre de créer des chasses dans ces derniers et de faciliter leur nettoyage. Cet avantage est surtout précieux quand il s'agit d'aqueducs-syphons profondément enterrés. On peut admettre, en pareil cas, qu'un déversoir de fond est toujours commandé par la nécessité de pouvoir nettoyer le syphon, si l'on n'a pas d'autre procédé pour y créer des chasses.

Quant au nombre des déversoirs de fond et de superficie, il est impossible de poser des règles à ce sujet. Un bief très court suivi d'une chute un peu forte peut se vider, sans perte d'eau, dans celui qui le suit, tandis qu'un long bief, de 10 à 12 kilomètres par exemple, doit être muni d'un ou plusieurs déversoirs de fond et pouvoir ne se vider que partiellement.

Pour réaliser cette vidange partielle, on profite des passages rétrécis du canal et l'on y place, soit des rainures à poutrelles, soit une porte, permettant de scinder le bief en autant de parties qu'il y a de déversoirs.

Il serait excessif de créer des passages rétrécis uniquement dans ce but comme on l'a fait sur certains canaux. On a été conduit à supprimer sur le canal de la Marne au Rhin ceux qui n'avaient pas d'autre destination ; l'inconvénient qui en résultait pour le passage des bateaux était supérieur à l'avantage qu'on pouvait y trouver pour la vidange partielle d'un bief.

Mais cette considération paraît de nature à justifier de distance en distance un rétrécissement au passage d'un pont, dans les limites et avec les précautions qui ont été indiquées précédemment. En facilitant ainsi les chômages partiels on concourra au but que tous les ingénieurs de navigation ne doivent jamais perdre vue, la réduction au strict minimum des chômages généraux.

Digitized by Google

§ 2

PONTS-CANAUX

54. Dispositions générales. — Lorsque le cours d'eau par-dessus lequel doit passer le canal est important, non seulement on ne peut plus modifier profondément son lit comme on en use avec un ruisseau ou même avec une petite rivière que l'on fait *siphonner* au besoin ; il faut encore que l'ouvragé à construire, le *pont-canal*, ait un débouché et une hauteur suffisants pour laisser un libre cours aux eaux des plus grandes crues.

La dépense devient forcément considérable et on conçoit aisément qu'on se soit appliqué à la réduire autant que possible.

Tout d'abord la cuvette ne saurait conserver la section trapézoïdale qu'elle affecte en voie courante et qui comporte un notable excédent de largeur au plan d'eau. On adopte une section rectangulaire, ou à très peu près rectangulaire, dont les bajoyers verticaux apparaissent sur toute la longueur de l'ouvrage et en forment le couronnement, ce qui constitue encore un trait caractéristique des ponts-canaux. En outre, d'une manière à peu près constante, on a réduit la largeur de cette cuvette rectangulaire à ce qui est nécessaire pour le passage d'un seul bateau.

Quand il s'agit de ponts-canaux d'une grande longueur, le rétrécissement de la cuvette a nécessairement pour conséquence la réglementation de la circulation. Par périodes alternatives, les bateaux sont astreints à passer exclusivement dans un sens, d'où résultent pour eux de sérieuses pertes de temps. Dans nombre de cas, à la vérité, cette solution a pu être justifiée par la considération que, le pont-canal étant suivi d'écluses superposées qui rachètent sa grande élévation,

Digitized by Google

le passage des bateaux se trouvait nécessairement soumis à la sujétion indiquée.

55. Ponts-canaux en maçonnerie. — On trouve en France de nombreux et importants spécimens de ponts-canaux en maçonnerie, dont quelques-uns remontent à une époque déjà ancienne, par exemple :

Le pont-canal de l'Orb (pl. XXXIII, page 132) établi à la traversée, par le canal du Midi, de la rivière de ce nom ;

Le pont-canal d'Agen, à la traversée de la Garonne par le canal latéral à ce fleuve ;

Les ponts-canaux de Digoin et du Guétin (pl. XXXII, page 131) construits respectivement à la traversée de la Loire et de l'Allier par le canal latéral à la Loire ;

Les ponts-canaux de Troussey, de Liverdun et de Saint-Phlin (pl. XXXIV, page 133) à la traversée, par le canal de la Marne au Rhin, de la Meuse, de la Moselle et de la Meurthe.

56. Cuvette et chemins de halage. — Il faut bien reconnaître que le souci de l'économie dans la construction de ces ouvrages a eu des conséquences fâcheuses. On a donné à la cuvette des dimensions trop exiguës, d'où il résulte que la traction des bateaux rencontre à la traversée de nos ponts-canaux des résistances excessives.

La planche XXX montre, telle qu'elle était à l'origine, la section transversale des trois grands ponts-canaux du canal de la Marne au Rhin. La section mouillée, qui ne dépassait pas 9 mq. 984 à Liverdun, se réduisait à 9 mq. 184 à Saint-Phlin et à 9 mq. 008 à Troussey. Pour des bateaux de 5 mètres de largeur à l'enfoncement de 1 m. 40, enfoncement maximum à l'époque, les valeurs correspondantes de n tombaient respectivement à 1.426, à 1.312 et à 1.287.

Depuis, le plan d'eau a été relevé de 0 m. 40 pour porter le mouillage à 2 mètres et permettre la circulation des bateaux à 1 m. 80 d'enfoncement ; mais la situation ne s'est améliorée

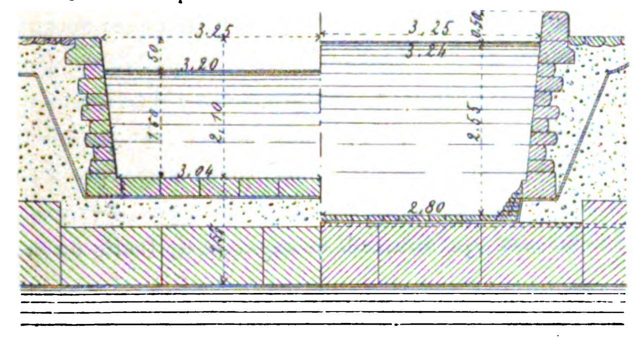
Digitized by Google

1° Pont-Canal de Troussey.

½ Section primitive ½ Section actuelle

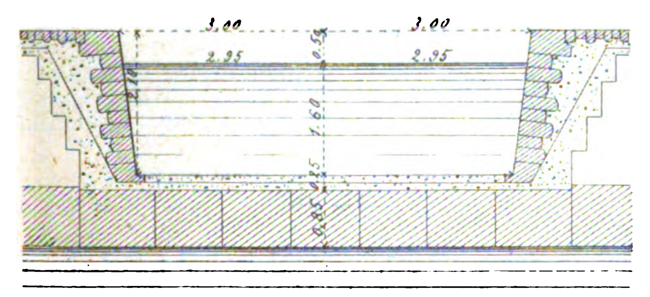
2° Pont-Canal de Liverdun

½ Section primitive. ½ Section actuelle.



3° Pont-Canal de St Phlin.

Section primitive.

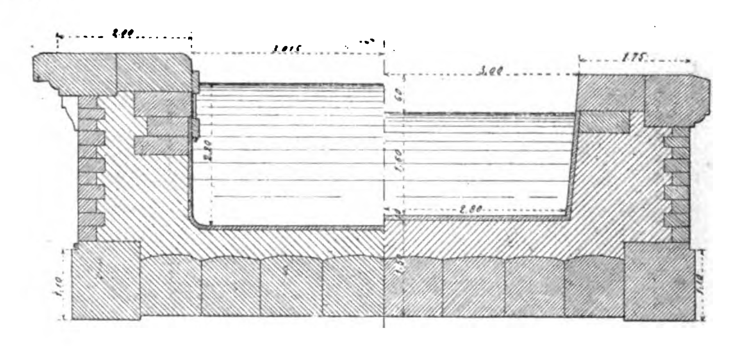


Pl. XXX. SECTION TRANSVERSALE DES GRANDS PONTS-CANAUX DU CANAL DE LA MARNE AU RHIN

Digitized by Google

qu'au pont-canal de Liverdun (pl. XXX) où on a pu approfondir notablement la cuvette ; le mouillage est actuellement de 2 m. 55, la surface mouillée est de 15 mq. 772, la valeur de *n* s'est élevée de 1.426 à 1.752. Mais à Saint-Phlin (pl. XXXI), et à Troussey (pl. XXX) cette valeur a encore diminué, elle est tombée à 1.284 et à 1.263. A Saint-Phlin un léger approfondissement de la cuvette est projeté (pl. XXXI) qui portera la valeur de *n* à 1.374, c'est-à-dire un peu au-dessus de ce qu'elle était avant le relèvement du plan d'eau.

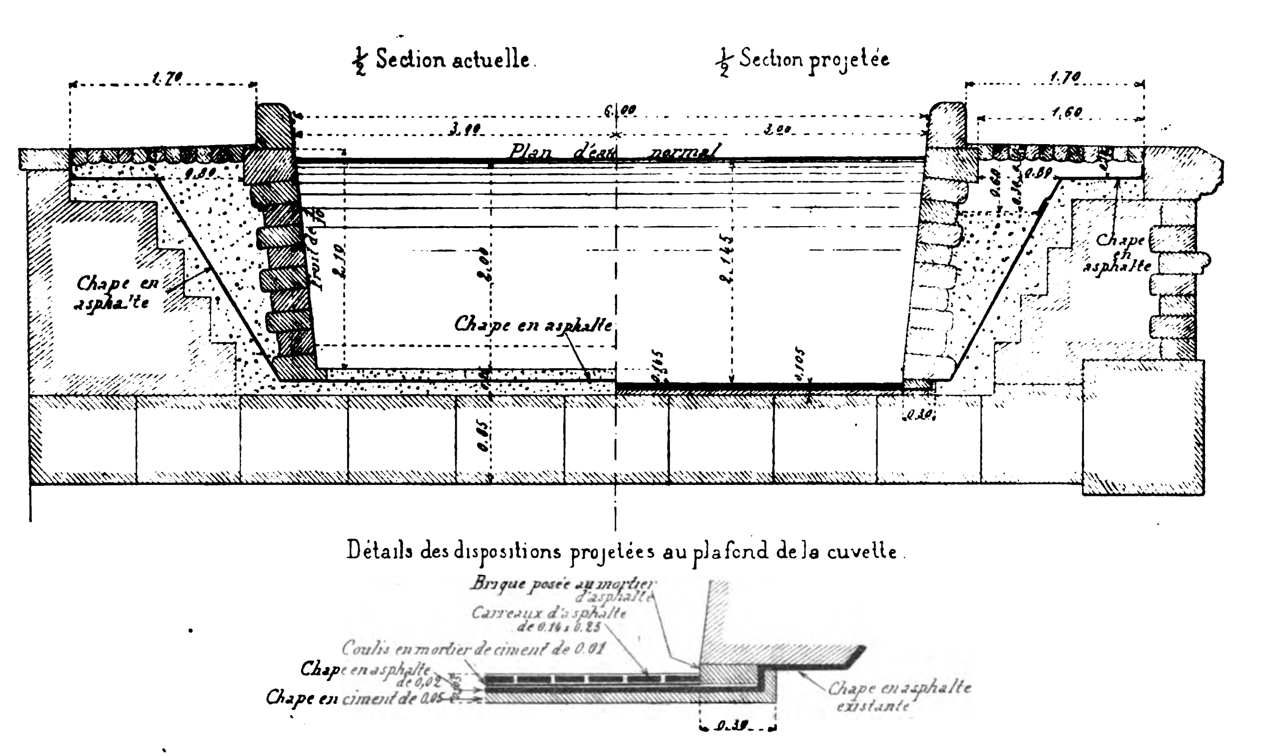
La comparaison de ces valeurs de *n* avec celles citées plus haut à propos des tunnels (1.72 à 2.58) donne une idée des résistances que les bateaux rencontrent au passage de ces ponts-canaux. Voici d'ailleurs comment M. l'inspecteur général Holtz, qui avait été chargé du service du canal de la Marne au Rhin, appréciait la situation : « Il n'est pas rare de voir les « bateaux un peu fortement chargés mettre une heure à franchir ces ponts-canaux, ou même se trouver complètement « arrêtés s'ils marchent en sens contraire du courant d'alimentation. Actuellement, ce sont ces ouvrages, beaucoup plus « que les écluses, qui limitent la capacité de trafic du canal ».



Etat actuel *Etat ancien*

Fig. 16

Il n'en va guère mieux au canal latéral à la Loire, même après la transformation des deux grands ponts-canaux de Digoin et du Guétin (fig. 16) en vue du passage des bateaux



Pl. XXXI. SECTION TRANSVERSALE DE LA CUVETTE DU PONT-CANAL DE SAINT-PHLIN

Digitized by Google

à 1 m. 80 d'enfoncement. Au Guétin, la section mouillée de la cuvette mesure actuellement 6 m. 03 de largeur sur 2 m. 20 de profondeur ; la surface ne dépasse pas 13 mq. 266 et la valeur de *n* 1.474 [1].

Le canal de Dortmund à l'Ems, en Allemagne, mis en exploitation en 1899, comporte six ponts-canaux en maçonnerie dont trois importants sur l'Ems, la Lippe et la Stever. Tous ces ouvrages sont à deux voies de bateau. La cuvette mesure 18 mètres de large avec 2 m. 50 de mouillage au-dessous de la tenue normale des biefs. Les plus grands bateaux ont 8 m. 20 de large ; leur enfoncement est normalement de 1 m. 60 et n'atteint 2 mètres que tout à fait exceptionnellement. Même dans ce dernier cas, la valeur de *n* est encore de 2.744 ; elle s'élève normalement, à 3.430.

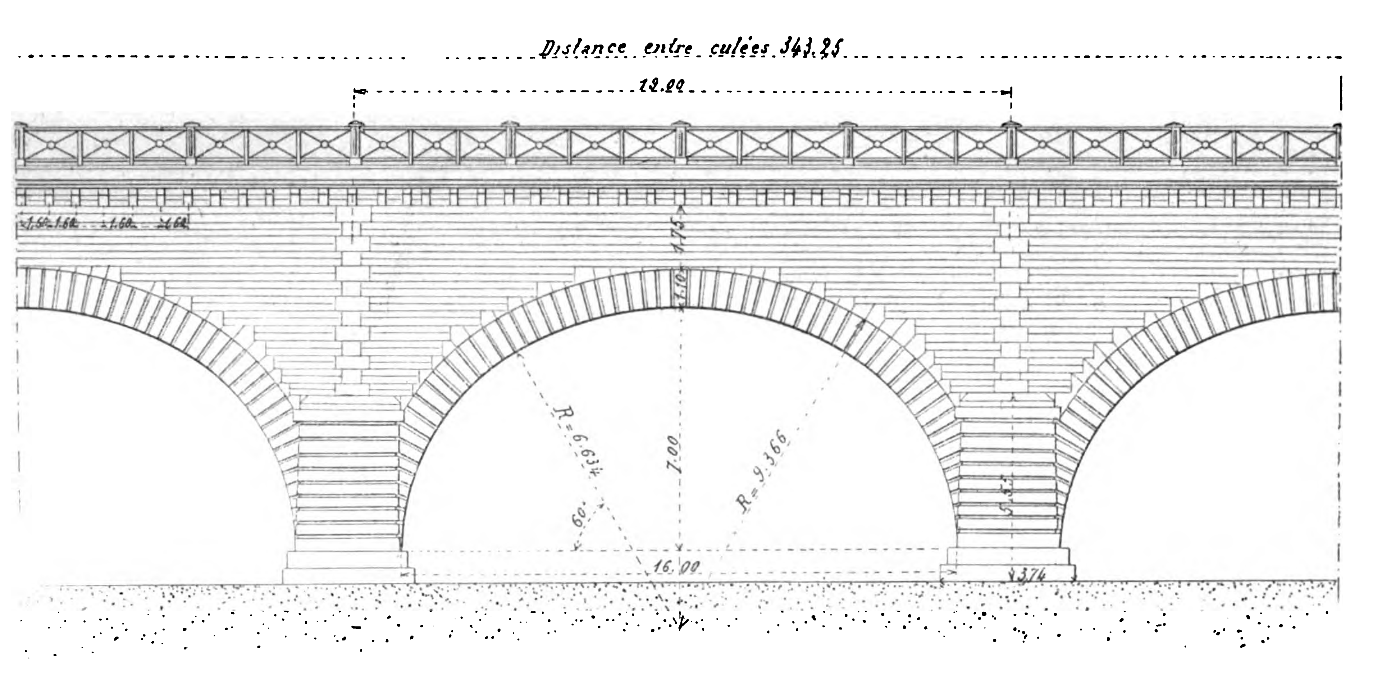
La cuvette des ponts-canaux est bordée de deux chemins de halage dont le niveau dépasse généralement de 0 m. 50 environ celui de l'eau dans le bief ; on leur donne une largeur de 1 m. 50 à 3 mètres, de 2 mètres le plus souvent.

D'ailleurs on gagne de la largeur, autant que faire se peut, en plaçant le couronnement sur des consoles en encorbellement par rapport aux têtes du pont et en faisant usage de garde-corps métalliques, afin de restreindre, le plus possible, l'espace consacré à une protection qui est, on le conçoit, indispensable.

57. Aspects des ponts-canaux en maçonnerie. — Malgré cette disposition qui allège la masse, l'aspect des ponts-canaux est toujours lourd ; c'est bien le cas, notamment, pour le pont du Guétin (pl. XXXII). La grande hauteur des maçonneries qui règnent sans interruption de l'intrados des voûtes au couronnement contraste avec les proportions hardies que l'on est habitué à admirer dans les ponts, et l'œil en est assez désagréablement affecté.

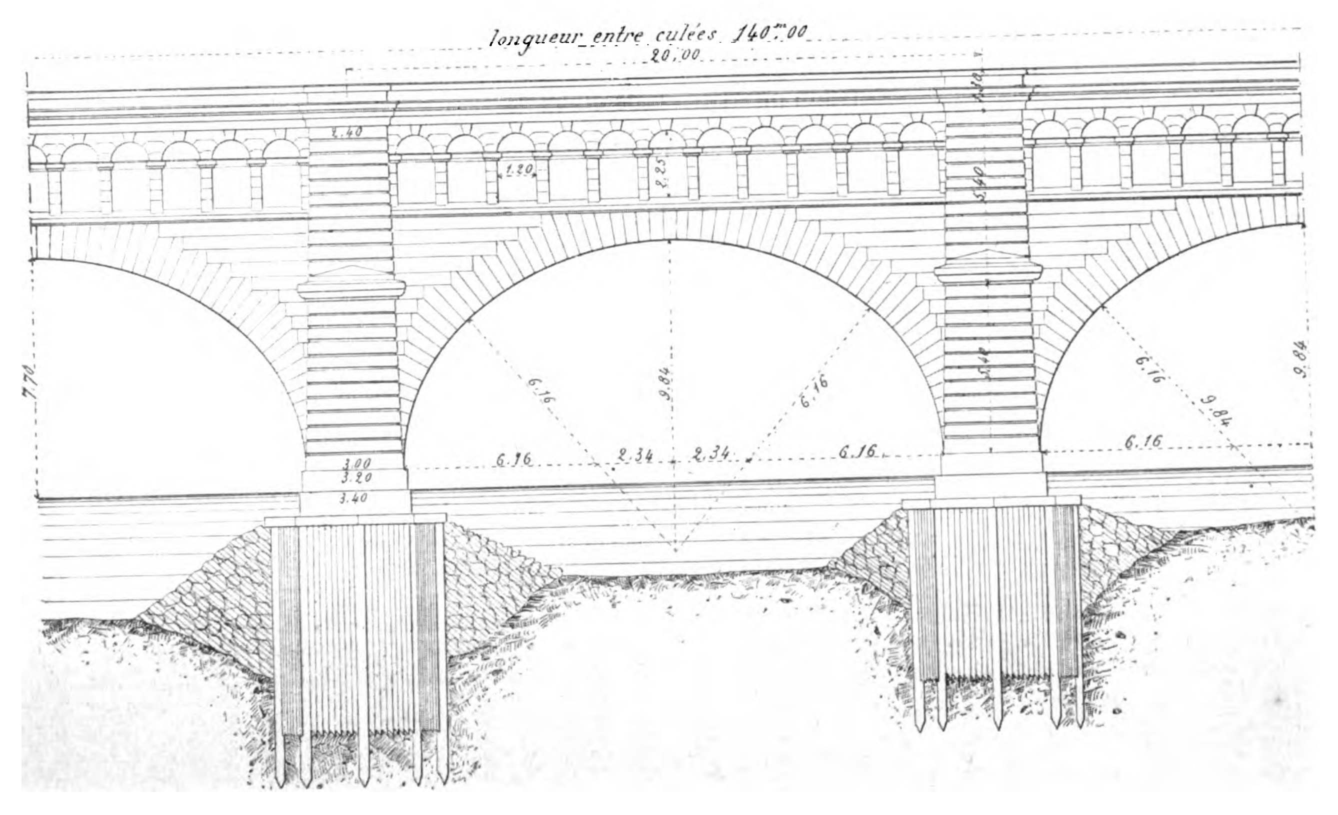
1. Avant la transformation, la surface mouillée n'était que de 9 mq. 192 ; pour les bateaux à l'enfoncement maximum de 1 m. 40, la valeur de *n* tombait à 1.313.

Digitized by Google



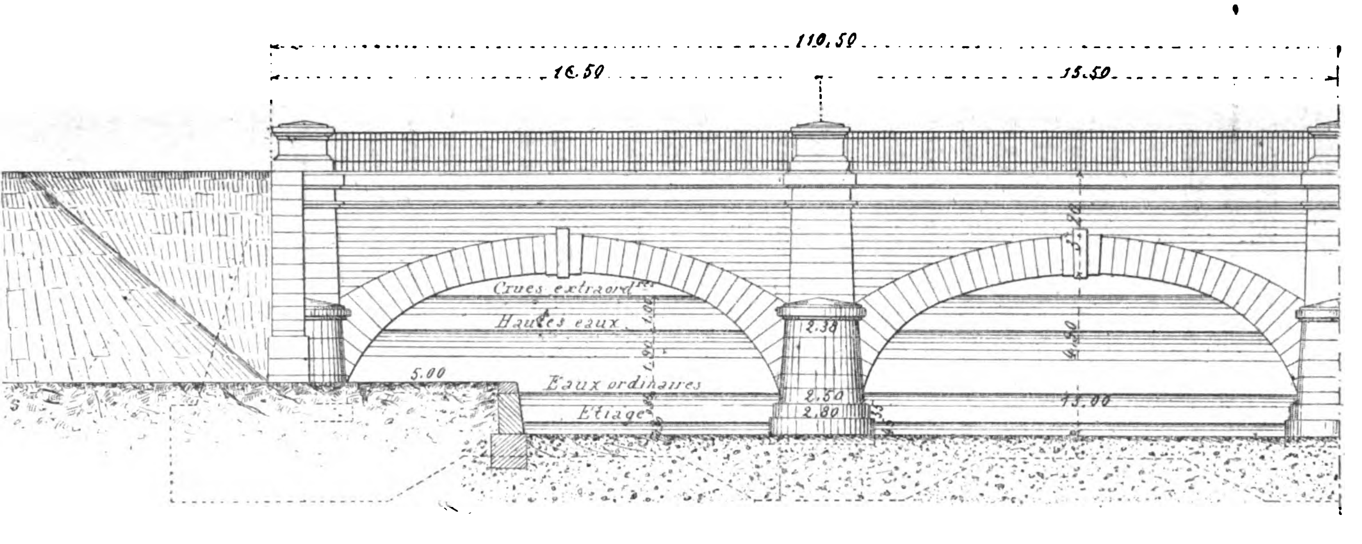
Pl. XXXII. PONT-CANAL DU GUÉTIN

Digitized by Google



Pl. XXXIII. PONT-CANAL DE L'ORB

Digitized by Google



Pl. XXXIV. PONT-CANAL DE SAINT-PHLIN

Digitized by Google

Au pont-canal de l'Orb (pl. XXXIII), cet effet a été combattu par l'établissement de galeries voûtées sous chaque chemin de halage. Les ouvertures multipliées de ces galeries rompent la monotonie des tympans et constituent un étage superposé à la voûte proprement dite. Il en résulte une décoration très monumentale, mais dispendieuse et un peu riche peut-être pour un ouvrage utilitaire comme l'est un pont-canal.

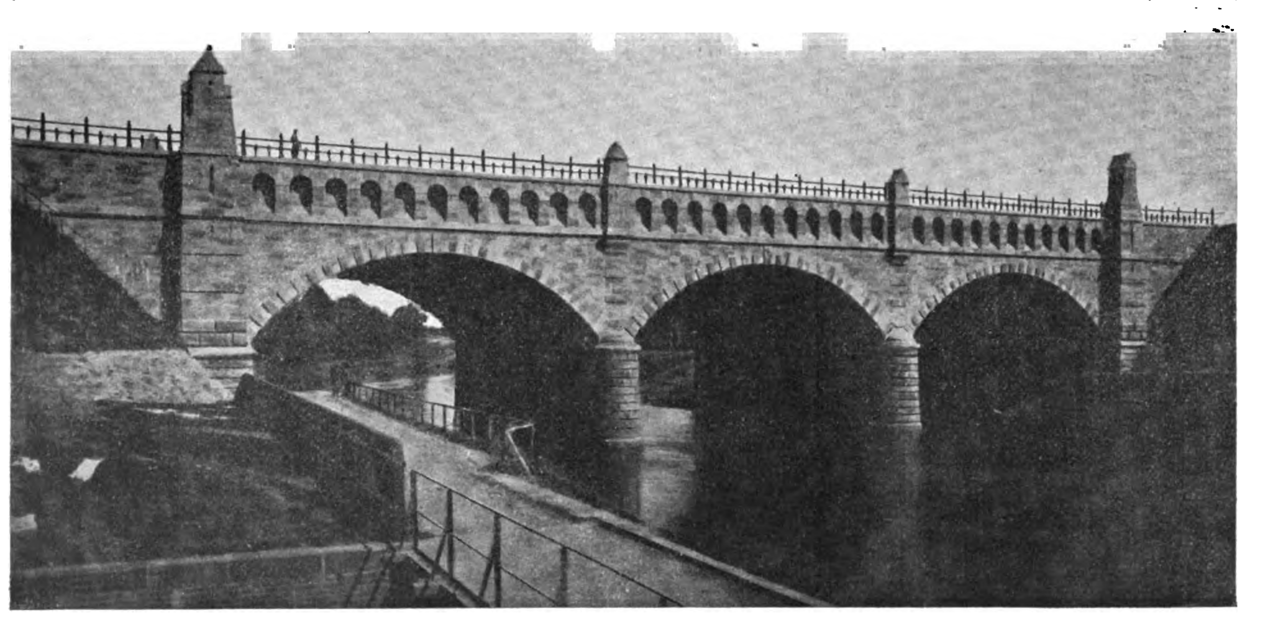
Au pont-canal de Saint-Phlin (pl. XXXIV) on a obtenu un effet, sinon aussi décoratif, du moins très satisfaisant déjà, en établissant un bandeau bien accusé au niveau du couronnement de la cuvette et en continuant les piles par des pilastres qui divisent les tympans.

On améliorerait sans doute encore l'aspect en faisant varier la nature et la couleur des matériaux suivant la partie de la construction où ils sont employés ; par exemple, en mariant la brique à la pierre, la première étant affectée au parement uni des tympans, la seconde faisant ressortir toutes les parties saillantes de la construction : voûtes, bandeaux, pilastres, couronnements.

Les ponts-canaux du canal de Dortmund à l'Ems, dont la planche XXXV montre un spécimen ,ont été construits avec une grande recherche de l'effet esthétique. Les chemins de halage sont soutenus par des galeries voûtées comme au pont de l'Orb, et de plus on a employé des pierres de taille et des moellons de couleurs différentes suivant les parties de l'édifice.

La construction même des ponts-canaux ne diffère pas sensiblement, dans l'ensemble, de celle des autres ponts et ressortit, au même titre, au *Cours de ponts*. On peut seulement observer que pour ces ouvrages une fondation absolument sûre est particulièrement indispensable, à raison de leur poids considérable. En effet, une hauteur d'eau de 2 m. 20 seulement dans la cuvette correspond à une surcharge permanente de 2.200 kilogrammes par mètre carré, tandis que la charge d'épreuve à laquelle sont soumis les autres ponts n'est que de 400 kilogrammes pour la même surface. Il convient toutefois

Digitized by Google



Pl. XXXV. PONT-CANAL DE LA LIPPE, SUR LE CANAL DE DORTMUND A L'EMS

Digitized by Google

d'ajouter que les ponts-canaux n'ont jamais à supporter de surcharge accidentelle de quelque importance ni à subir les effets désastreux du passage de charges roulantes considérables animées d'une grande vitesse.

58. Etanchéité de la cuvette. — Le point particulièrement délicat en matière de ponts-canaux en maçonnerie est d'assurer l'étanchéité de la cuvette. La question présente des difficultés exceptionnelles.

Sous l'influence des variations de température la maçonnerie se dilate ou se contracte. Si on considère une voûte, le développement de la douelle augmente ou diminue alternativement et, par suite, la clef se relève ou s'abaisse de quantités qui n'ont pas été mesurées, mais qui sont certainement appréciables. Pour suivre le mouvement, le tympan est obligé de se fissurer verticalement sur le point fixe, c'est-à-dire au droit de la pile et, en effet, c'est à l'aplomb des piles que l'on rencontre toujours les gerçures des maçonneries. Quant aux fuites qui en sont la conséquence, elles ont lieu surtout l'hiver, alors que la clef subit l'abaissement maximum.

Ces effets de la température ont été constatés d'une manière indéniable sur les grands ponts-canaux du canal de la Marne au Rhin. Par de belles journées du mois d'avril ou du mois de mai, où la gelée se faisait sentir le matin et où la température s'élevait dans l'après-midi sous l'action du soleil, on a reconnu que le même pont-canal laissait passer des filtrations assez apparentes le matin et se montrait dans un état de siccité complet vers le milieu de la journée, alors que les maçonneries s'étaient réchauffées et dilatées.

On conçoit combien il est difficile de combattre des effets de ce genre avec une substance aussi peu élastique que la maçonnerie, quelles que soient la qualité des matériaux et la perfection de l'exécution ; on conçoit également qu'on ait cherché le remède dans l'emploi de substances plus élastiques.

Au pont-canal du Guétin, sur le canal latéral à la Loire,

Digitized by Google

M. Julien avait revêtu la cuvette, dans tout son pourtour, de dalles en lave de Volvic bien jointives. Sur ces dalles, il avait placé une double chape en bitume à joints croisés. Les plus grands soins avaient été apportés à l'exécution et on a pu espérer quelque temps que grâce à l'élasticité du bitume, l'étanchéité serait obtenue. Le résultat n'a pas répondu à cette attente.

Sous l'influence des variations de température le bitume, infiniment plus dilatable et contractile que les maçonneries, s'est séparé d'elles et les filtrations ont reparu. A ce point de vue, les réparations elles-mêmes contribuaient à l'insuccès, car pendant la mise à sec de la cuvette, l'enduit subissait alternativement avec plus d'intensité l'action du soleil et les fraîcheurs de la nuit, de telle sorte qu'il se boursouflait en des points où il adhérait auparavant, alors que la couche d'eau qui le recouvrait y maintenait une température moins variable. Il faut bien dire d'ailleurs que cette chape, placée extérieurement, était exposée à toutes les causes de destruction provenant du fait de l'eau ou des bateaux.

Au pont-canal de Saint-Phlin, sur le canal de la Marne au Rhin, on a mieux réussi en plaçant la chape de bitume à l'intérieur des maçonneries et en la mettant ainsi à l'abri tant du contact direct de l'air que des autres causes de destruction. Voici comment on a procédé pour poser cette chape qui est indiquée par un trait noir accentué sur la partie gauche de la planche XXXI (page 129).

Tout d'abord, le plafond a été arasé à 0 m. 10 ou 0 m. 12 en contrebas de son niveau définitif et on a monté les bajoyers de la cuvette jusqu'à la hauteur du plan d'eau, mais sans exécuter immédiatement ces bajoyers sur toute leur épaisseur. On a provisoirement donné à la bâche une largeur au fond de 6 m. 40 et une largeur au niveau du plan d'eau de 8 m. 20. Cette forme a été obtenue au moyen de murs en maçonnerie hydraulique revêtus d'une couche de béton.

Le fond de la bâche a été recouvert par une double chape

Digitized by Google

en mastic minéral, composé en poids de 12 parties de goudron minéral et de 88 d'asphalte naturel. La première couche de mastic minéral a reçu un centimètre d'épaisseur ; la seconde a été posée sur la première, à joints croisés, avec une épaisseur de 0 m. 005.

Les parois latérales ont été aussi revêtues en mastic minéral, sous forme de panneaux confectionnés à l'avance, de grands carreaux mesurant 0 m. 70 de largeur, 0 m. 45 de hauteur et 0 m. 01 d'épaisseur. Ces panneaux ont été appliqués contre la paroi inclinée des bajoyers, formée par la couche de béton parfaitement réglée et dégauchie. Les joints des panneaux entre eux ont été ensuite remplis en mastic minéral et recouverts par des bandes du même mastic posées à chaud.

Sur la chape élastique du fond, on a posé le radier définitif, formé d'une couche de béton de 0 m. 10 d'épaisseur confectionnée avec le plus grand soin. Enfin, on a construit les parements intérieurs des bajoyers suivant un fruit égal à 1/10 de la hauteur, en ramenant à 5 m. 58 la largeur au plafond de la cuvette. L'intervalle entre ces parements et la chape élastique a été rempli au fur et à mesure de l'élévation des assises du parement au moyen de béton à mortier de chaux hydraulique, qui a été fortement tassé, de manière qu'il ne restât aucun vide. Ce procédé a convenablement réussi et, malgré des froids rigoureux qui descendent parfois jusqu'à — 20°, ce pont est resté depuis relativement étanche.

La planche XXXI montre encore les dispositions que l'on compte employer pour conserver ce mode d'étanchement lors de l'exécution de l'approfondissement da la cuvette.

En somme, l'emploi d'une chape faite en une matière élastique telle que le bitume, posée à l'intérieur des maçonneries et à l'abri de l'air avec les précautions que l'on a prises à Saint-Phlin, semble pouvoir être recommandé.

Dans un ordre d'idées analogue, on doit conseiller comme un moyen d'atténuer les filtrations le goudronnage souvent répété des parois de la cuvette des ponts-canaux. Le goudron

Digitized by Google

appliqué à chaud sur la maçonnerie de parement remplit les fissures capillaires qui se sont formées sous l'influence des variations de température et remédie en même temps à la porosité de la pierre dont il est impossible de faire abstraction. En répétant l'opération tous les ans ou tous les deux ans, on est arrivé à réduire dans une forte mesure les filtrations de certains ponts-canaux et même à préserver quelques-uns d'entre eux d'une ruine qui paraissait imminente, et cela moyennant une faible dépense.

Pour obtenir l'étanchéité de la cuvette des grands ponts-canaux en maçonnerie du canal de Dortmund à l'Ems, on a eu recours à un revêtement continu en feuilles de plomb de 3 millimètres d'épaisseur. Les résultats obtenus sont, paraît-il, de tout point satisfaisants, aussi croyons-nous intéressant de résumer ici les indications détaillées sur cet emploi du plomb que nous devons à l'obligeance de l'ingénieur en chef du canal de Dortmund à l'Ems, M. A. Hermann.

Tout d'abord, les maçonneries soigneusement arasées sont recouvertes d'une chape au mortier de ciment de 0 m. 015 d'épaisseur ; les surfaces à revêtir de plomb sont ensuite enduites d'une pâte isolante composée essentiellement d'asphalte et de goudron de houille ou d'une substance particulière appelée en allemand *Holzcementmasse* (littéralement pâte de ciment de bois).

S'il s'agit d'un revêtement à plat, la pâte isolante est recouverte d'un carton bitumé non sablé sur lequel les feuilles de plomb sont étendues et soudées en place. Au-dessus des feuilles de plomb formant ainsi une chemise continue, on place successivement un second carton bitumé, un second enduit isolant et une couche d'argile ou de sable, d'épaisseur variable avec les exigences de la construction, sur laquelle est établi le pavage en briques formant le radier.

Dans les autres parties du revêtement, les feuilles de plomb pendantes sont appliquées sur des surfaces enduites de pâte isolante et sont également soudées en place ; elles sont pro-

Digitized by Google

tégées par un système de pièces de bois verticales recouvertes d'un platelage en madriers placé en avant.

Les dimensions moyennes des feuilles de plomb sont de 2 mètres sur 5 mètres. La soudure se fait au moyen d'un chalumeau à gaz suivant des procédés différents pour les joints horizontaux et pour les joints verticaux.

Les extrémités des feuilles de plomb sont fixées à la maçonnerie avec des soins tout spéciaux. Elles s'engagent dans des rainures en queue d'aronde de 0 m. 08 de profondeur ; le métal est enveloppé de carton bitumé et de pâte isolante, et le scellement se fait ensuite au mortier de ciment.

Les revêtements en plomb exécutés comme il vient d'être dit, sont revenus, y compris tous les travaux accessoires, à 25 marks (31 fr. 25) le mètre carré. Il en a été exécuté respectivement 2.639, 1.740 et 2.382 mètres carrés aux ponts-canaux de la Lippe, de la Stever et de l'Ems.

Les précautions ci-dessus indiquées peuvent paraître minutieuses à l'excès, car les pertes d'eau susceptibles de se produire par les fissures en question ne sauraient avoir aucune importance au point de vue de l'alimentation du canal et semblent même peu redoutables au point de vue de l'entraînement des matières, du moment qu'on a affaire à des maçonneries de bonne qualité.

L'objection pourrait être juste si l'on n'avait à compter avec la gelée qui est le plus redoutable ennemi des ponts-canaux en maçonnerie. Malgré tous les soins que l'on peut prendre, on a bien de la peine à conserver ces ouvrages dans les pays froids, et c'est précisément pour cela que nous avons surtout pris comme exemple les ponts-canaux du canal de la Marne au Rhin qui traverse une partie de la France dont le climat est particulièrement rigoureux (climat vosgien). Et ici, il y a lieu d'observer que l'action néfaste de la gelée se fait sentir de deux façons bien différentes.

L'action peut être lente. Par suite de la congélation de l'eau dans les fissures de la maçonnerie et dans les matériaux

Digitized by Google

voisins qui en sont tout imprégnés, ceux-ci éclatent et se désagrègent, les fissures s'agrandissent, les maçonneries se détruisent de proche en proche et, pour se produire peu à peu, la ruine n'en est pas moins certaine. C'est pour cela qu'il est si important d'empêcher, autant que possible, toute introduction dans les maçonneries de l'eau de la cuvette ou même de celle que la pluie jette sur la surface supérieure des chemins de halage. A ce dernier point de vue, on aura soin de poser à plein bain de mortier de ciment les matériaux formant le revêtement de ces banquettes, on donnera à ce revêtement un léger dévers pour prévenir toute stagnation des eaux pluviales, enfin, on laissera toujours au-dessous de la lisse inférieure des garde-corps un vide qui permette à ces eaux de s'écouler facilement.

Mais l'action de la gelée peut aussi être brusque. Si on a l'imprudence de laisser la cuvette en eau pendant les grands froids ou de ne pas casser soigneusement la glace au fur et à mesure qu'elle se forme, la force d'expansion de cette dernière peut soudainement pousser les bajoyers au vide en produisant les avaries les plus graves.

C'est ainsi qu'au cours du rigoureux hiver 1870-1871, pendant lequel l'occupation allemande avait suspendu tout service d'entretien, le pont-canal de Troussey, sur lequel le canal de la Marne au Rhin traverse la Meuse, a subi des avaries très graves. Le bajoyer de la cuvette du côté exposé au nord a été poussé au vide en même temps qu'une large fissure se produisait dans la voûte à 1 mètre environ de distance du tympan ; le dévers, au sommet du bajoyer, n'était pas inférieur à 0 m. 08 et la largeur de la fissure dans la voûte atteignait 0 m. 04. La réparation a consisté surtout à réunir les deux têtes au moyen de tirants et d'ancres métalliques de manière à empêcher leur écartement ultérieur ; on a coulé ensuite du ciment dans toutes les fissures et finalement on a dissimulé aussi bien que possible, au moyen d'un bandeau horizontal, la saillie qu'avait prise le mur de tête.

Digitized by Google

Il serait malheureusement facile de multiplier les exemples; des faits du même genre se sont produits sur un grand nombre de ponts-canaux en maçonnerie qui ont dû faire l'objet de réparations importantes, ou même subir une reconstruction plus ou moins complète.

Quoi qu'il en soit, on doit conclure de ce qui précède que pour prévenir autant que possible les inconvénients dus aux variations de température, il y a lieu, dans la construction des ponts-canaux en maçonnerie :

1° De réduire l'ouverture des arches ;

2° D'adopter la forme de voûte qui, toutes choses égales d'ailleurs, procure le moindre déplacement à la clef.

En ce qui concerne l'ouverture des arches, celle de 16 mètres adoptée aux ponts-canaux de Digoin et du Guétin a rarement été dépassée. Cependant, les arches du pont-canal d'Agen mesurent 20 mètres de large et, sur le canal de Dortmund à l'Ems, le pont-canal de la Lippe présente trois arches de 21 mètres.

En ce qui concerne la forme des voûtes, la condition ci-dessus tend à faire écarter l'arc de cercle et à faire préférer le plein cintre ou encore les ellipses ou les anses de panier qui s'en rapprochent notablement. Cependant, on a de nombreux exemples de ponts-canaux dont les voûtes sont profilées suivant des arcs de cercle plus ou moins surbaissés. C'est le cas notamment pour les trois ponts-canaux de la Lippe, de l'Ems et de la Stever, sur le canal de Dortmund à l'Ems.

59. Etanchéité à la jonction des maçonneries et des remblais. — Ce ne sont pas seulement les bajoyers de la cuvette et les voûtes qui sont exposées à l'action destructive de l'eau ; les culées et les murs en retour n'y sont que trop souvent soumis par suite du défaut d'étanchéité qui peut se manifester à la jonction des maçonneries et des remblais. Il y a lieu de veiller à prévenir les filtrations qui résulteraient de

Digitized by Google

ce défaut d'étanchéité avec d'autant plus de soin qu'elles peuvent créer encore un péril d'un autre genre.

Par suite de l'entraînement des remblais sous l'action du courant de l'eau, les fissures par où se produisent ces filtrations sont susceptibles de s'élargir rapidement et de se transformer en de véritables brèches par lesquelles tout un bief se viderait en quelques heures en causant les avaries les plus graves.

Tout d'abord, on doit n'employer dans le voisinage des culées que des remblais d'excellente qualité, en apportant à leur mise en œuvre les soins particuliers que nous indique-

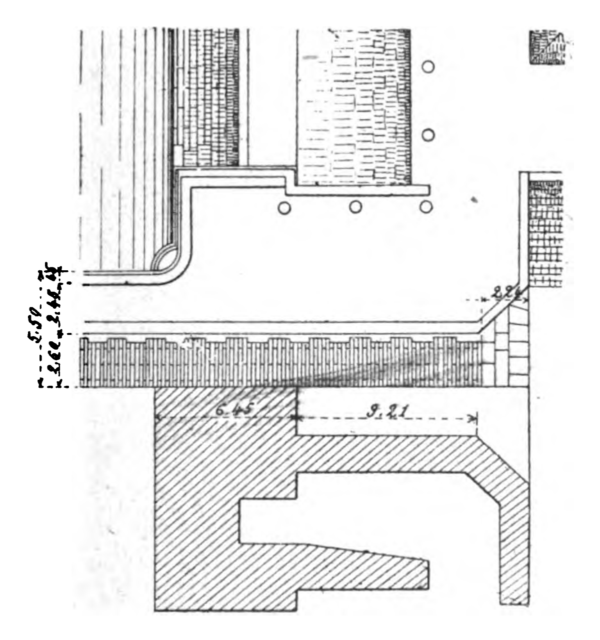


Fig. 17.

rons à propos de la confection des digues de réservoirs en terre.

Il faut ensuite donner aux culées une largeur notablement plus grande que celle du pont de manière à constituer, à l'in-

Digitized by Google

térieur de ces culées, un puissant terre-plein entre la cuvette et les murs en retour.

Une disposition très convenable a été appliquée au pont-canal de Saint-Florentin, sur le canal de Bourgogne ; elle consiste à prolonger les murs de tête du pont dans le terre-plein (fig. 17). En plaçant ainsi un diaphragme étanche entre la cuvette et chaque mur en retour, on impose aux filtrations qui tendraient à se produire le long des maçonneries un parcours long et sinueux qui met obstacle à leur production et qui donnerait plus de facilité pour les intercepter, le cas échéant.

Enfin, il peut être prudent de revêtir en béton ou en bonne maçonnerie hydraulique le plafond et les talus de la cuvette du canal en remblai, sur une certaine longueur à partir du pont-canal.

Faut-il ajouter qu'une surveillance continue et minutieuse doit être exercée sur ces points, afin que le mal puisse être arrêté dès ses débuts si, malgré ces précautions, on voyait apparaître des suintements.

60. Premiers essais d'emploi du métal. — Dès le commencement du XIXe siècle, l'éminent ingénieur Brisson, avec une vue très remarquable de l'avenir, avait exprimé l'opinion qu'un jour viendrait peut-être où l'on pourrait exécuter les ponts-canaux en métal.

Comme une des premières applications du métal à la construction de ces ouvrages, on peut citer le pont-canal en fonte établi en 1845 pour la traversée de la Seine par le canal de la Haute Seine à Barberey, près de Troyes. Cet ouvrage n'est assurément pas à imiter, bien qu'il ait fait jusqu'ici un bon service, et n'a guère qu'un intérêt historique ; aussi nous contenterons-nous de dire qu'on en trouve la description et un dessin dans le cours de navigation intérieure de M. l'inspecteur général Guillemain (tome II, pages 139 et suivantes).

Digitized by Google

On peut encore mentionner, comme exemple d'emploi de la fonte, un type de pont-canal mixte (maçonnerie et métal) appliqué jadis pour de petites ouvertures sur des points où on ne disposait que d'une faible hauteur.

Tel est le pont-canal de la Charité, à Charenton, construit à la traversée, par le canal Saint-Maurice, du bras de la Marne dit bras de Gravelle (fig. 18 et pl. XXXVI, p. 146). Cet ouvrage se compose de quatre arches de 2 m. 50 d'ouverture séparées par trois piles de 0 m. 80 d'épaisseur Sous les bajoyers de la

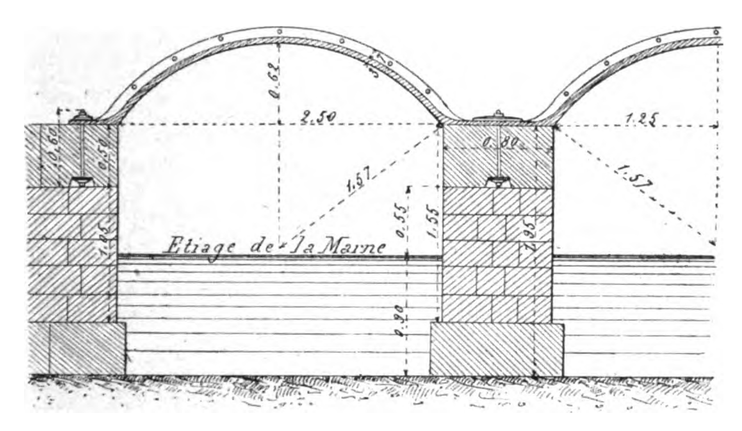


Fig. 18.

cuvette, chaque ouverture est couverte par une voûte en maçonnerie, en arc de cercle, de 0 m. 62 de flèche. Sous le plafond, les voûtes sont remplacées par des plaques de fonte cintrées au même gabarit et renforcées chacune par quatre nervures, dont les deux extrêmes permettent d'assembler les plaques les unes aux autres au moyen de boulons. Une couche de béton, dont l'épaisseur se réduit à 0 m. 17 seulement à la partie supérieure des plaques de fonte, protège ces dernières et relie les deux bajoyers en maçonnerie. L'épaisseur à la clef de cette voûte mixte n'est donc que de 0 m. 20 et le bras de Gravelle profite de toute la hauteur que la situation respective du canal et de la rivière permettait de donner.

Les grandes crues de la Marne s'élevant au-dessus du

Digitized by Google

Pl. XXXVI. PONT-CANAL DE LA CHARITÉ SUR LE CANAL SAINT-MAURICE — COUPE TRANSVERSALE

Digitized by Google

niveau des eaux à la tenue normale dans le canal, les plaques de fonte formant voûte ont été ancrées dans les piles et les culées, à une profondeur suffisante pour que la sous-pression fût, dans tous les cas, inférieure au poids des maçonneries intéressées.

Ce système mixte, qui a pu fournir une excellente solution dans quelques cas particuliers, n'a pas été sans donner lieu à certaines critiques. La confection et l'ajustage des pièces de fonte demandent une grande précision pour qu'elles s'adaptent parfaitement les unes aux autres ainsi qu'à leurs supports. Autrement il pourrait se produire lors de l'assemblage des tensions excessives atteignant la résistance propre du métal. On s'est aussi demandé si entre le métal et les maçonneries en contact sous l'eau il n'y aurait pas nécessairement disjonction et pertes. C'est là une appréhension que l'on n'éprouverait plus guère aujourd'hui que les constructions en béton armé prennent un si grand développement.

Quoi qu'il en soit, c'est l'emploi des poutres droites en tôle et fer profilés qui devait fournir la véritable solution de l'application du métal à la construction des ponts-canaux.

61. Pont-canal de l'Albe. — Le premier specimen de ce système est le pont-canal de l'Albe construit dès avant 1867 sur le canal des houillères de la Sarre[1]. Il est entièrement en tôle et fers spéciaux ; sa longueur entre culées est de 45 mètres et comprend : trois travées métalliques dont les deux extrêmes ont 12 m. 50 d'ouverture et celle du milieu 17 mètres ; deux piles de 1 m. 50 d'épaisseur (pl. XXXVII, page 148). Deux poutres verticales de 3 m. 05 de hauteur, espacées de 6 m. 80 d'axe en axe (pl. XXXVIII, page 149), supportent le poids de la cuvette. Ces poutres, réunies à leur partie inférieure par des pièces de pont distantes de 1 m. 40 d'axe en axe, sont

1. Le canal des houillères de la Sarre a été enlevé à la France, en 1871, avec l'Alsace-Lorraine.


Digitized by Google

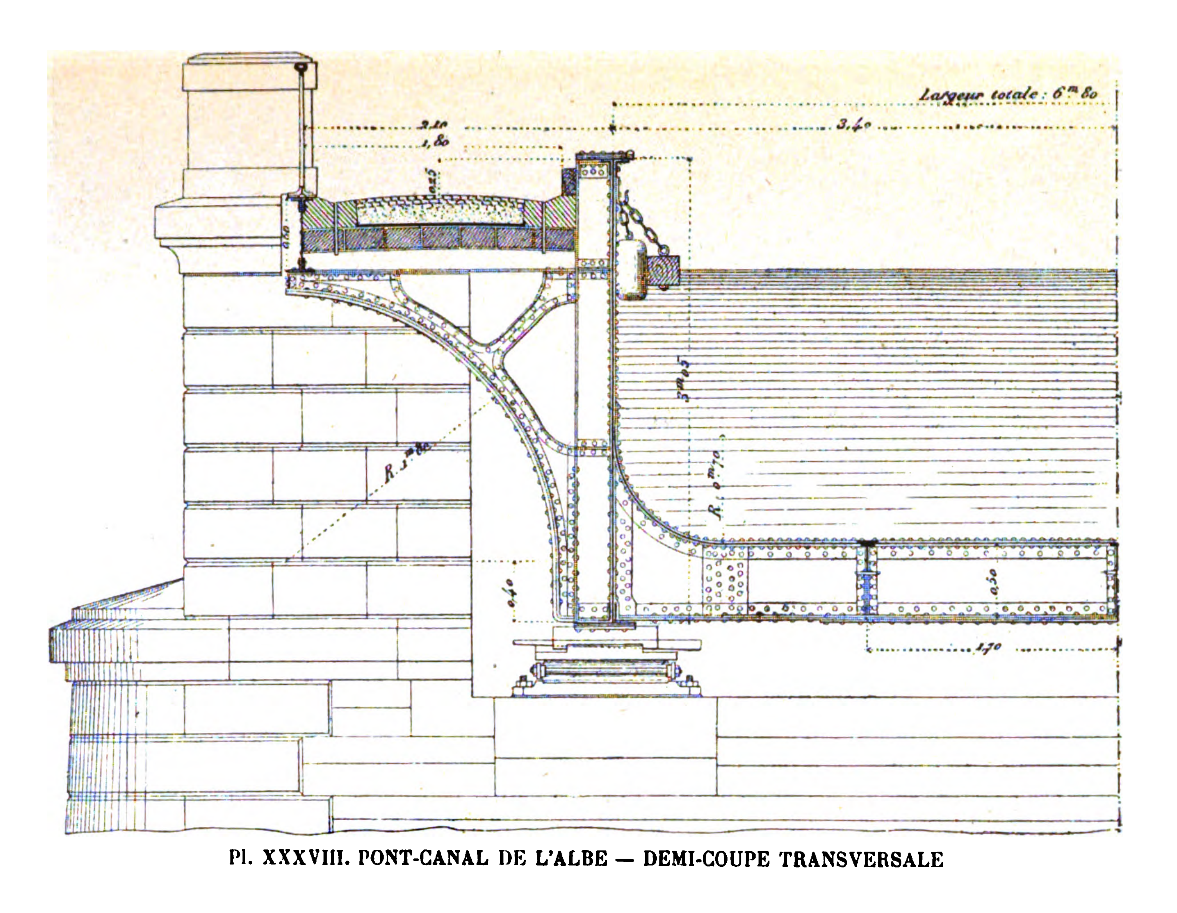
Longueur totale 45m00

12m50

1.50

Pl. XXXVII. PONT-CANAL DE L'ALBE — DEMI-ÉLÉVATION

Digitized by Google



Pl. XXXVIII. PONT-CANAL DE L'ALBE — DEMI-COUPE TRANSVERSALE

Digitized by Google

armées extérieurement par de solides consoles, en porte-à-faux de 2 m. 10, sur lesquelles s'installent les banquettes de halage. Trois cours de longerons constitués par des fers en double T et espacés de 1 m. 70 relient les pièces de pont ; ils supportent, avec ces dernières, les tôles qui se relient d'autre part aux âmes des poutres de rive pour former une cuvette parfaitement étanche.

Le long de chacune des parois verticales de cette cuvette sont suspendus un certain nombre de cylindres en fonte sur lesquels roule une pièce de bois longitudinale. De cette manière la tôle est préservée de tout choc direct, sans qu'il en résulte une diminution appréciable de la section mouillée. Avec une profondeur d'eau de 1 m. 80, la surface de cette section est de 12 mq 03 ; la valeur de *n* pour des bateaux à 1 m. 40 d'enfonfoncement est donc de 1,72.

62. Formation d'un joint étanche à la jonction du tablier métallique avec les maçonneries des culées. — La principale difficulté dans ce système porte sur le joint de la bâche en tôle avec les maçonneries. Il faut, en effet, permettre à la dilatation du métal de s'exercer librement aux deux extrémités, ce qui exige l'emploi de rouleaux ou de plaques de friction, aussi bien que sur un pont de route ou un pont de chemin de fer ; mais des précautions spéciales sont indispensables pour empêcher le passage de l'eau à la jonction de la bâche avec les culées.

Au pont-canal de l'Albe, on avait espéré y arriver au moyen d'un matelas en laine, suffisamment élastique, pensait-on, pour assurer l'étanchéité tout en permettant la dilatation du métal. Ailleurs on a employé dans le même but des étoupes goudronnées ou autres corps analogues. Mais, au bout de peu de temps, ces joints ont donné lieu à des filtrations importantes qui ont pénétré dans les maçonneries des culées et les ont dégradées plus ou moins profondément.

On peut atténuer les effets de destruction sur les maçon-

Digitized by Google

neries en recueillant soigneusement les eaux de filtration et en les conduisant au-dehors, mais on n'a obtenu de joint véritablement étanche que grâce à l'emploi du caoutchouc.

L'essai paraît en avoir été fait pour la première fois en 1881 au pont-canal du Sanon, sur une des rigoles alimentaires du canal de la Marne au Rhin. Le succès ayant été complet, les applications se sont multipliées suivant un dispositif qui ne varie guère, au moins pour les ponts-canaux de dimensions moyennes. Nous citerons comme spécimen ce qui a été fait au pont-canal de Condes.

63. Pont-canal de Condes. — Cet ouvrage, établi de 1883 à 1886 pour le passage du canal de la Marne à la Saône au-dessus de la Marne, laisse à la rivière 36 mètres d'ouverture libre en deux travées de 18 mètres séparées par une pile de 1 m. 50 [1]. Ses dispositions d'ensemble ne diffèrent pas sensiblement de celles du pont-canal de l'Albe. Il est formé d'une bâche métallique en fer galvanisé, fixée sur la pile centrale et appuyée sur les culées par l'intermédiaire de chariots de dilatation. La bâche mesure 6 m. 20 de largeur à l'intérieur des bordages, avec un mouillage de 2 m. 30 [2]. Son bordage latéral est formé par les âmes pleines des poutres de rive. Les chemins de halage sont portés en encorbellement par des consoles extérieures.

A chaque culée est fixé un tronçon de bâche métallique de 0 m. 93 de longueur, dépassant de 0 m. 145 le parement des maçonneries dans lesquelles il est, par conséquent, encastré de 0 m. 785, et présentant exactement le même profil intérieur que la bâche indépendante qui constitue le pont. Les abouts

1. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1899, 4e trimestre, mémoire sur le canal de la Marne à la Saône, par M. Gustave Cadart, ingénieur en chef des Ponts et Chaussees, page 13.

2. En tenant compte des congés aux deux angles de la cuvette, la surface mouillée est de 14 mq. 11. La valeur de n est de 1,57 pour les bateaux à 1,80 d'enfoncement.

Digitized by Google

de la bâche indépendante et ceux des bâches fixes sont distants de 0 m. 03 pour réserver le jeu nécessaire à la dilatation. C'est cet intervalle qui est couvert par une bande de caoutchouc formant *joint étanche*.

La bande de caoutchouc a 0 m. 31 de largeur sur 0 m. 012 d'épaisseur (fig. 19), et elle court transversalement sur tout

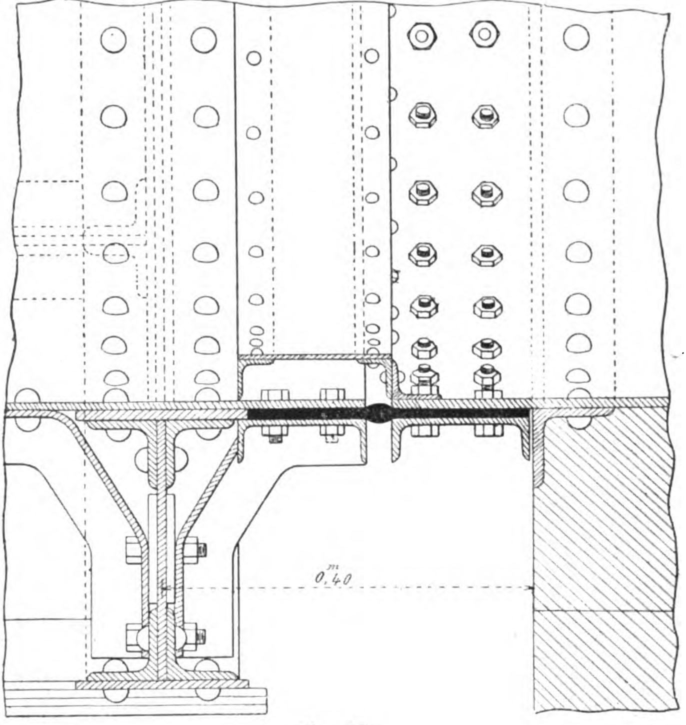


Fig. 19.

le développement extérieur de la bâche. Elle est pincée entre l'extérieur du bordage et deux cours de fer en ⊔ au moyen de boulons munis de rondelles en caoutchouc. A l'intérieur de la bâche, la bande de caoutchouc laissée à nu sur la largeur du joint est garantie du contact des corps étrangers par une sorte de boîte renversée recouvrant le joint sur toute sa longueur. Cette boîte se compose de deux petites cornières

Digitized by Google

qui en forment les faces et d'une tôle qui en forme le fond. Elle est boulonnée seulement au tronçon fixe et ne s'oppose pas au glissement de la bâche indépendante lors de la dilatation de cette dernière.

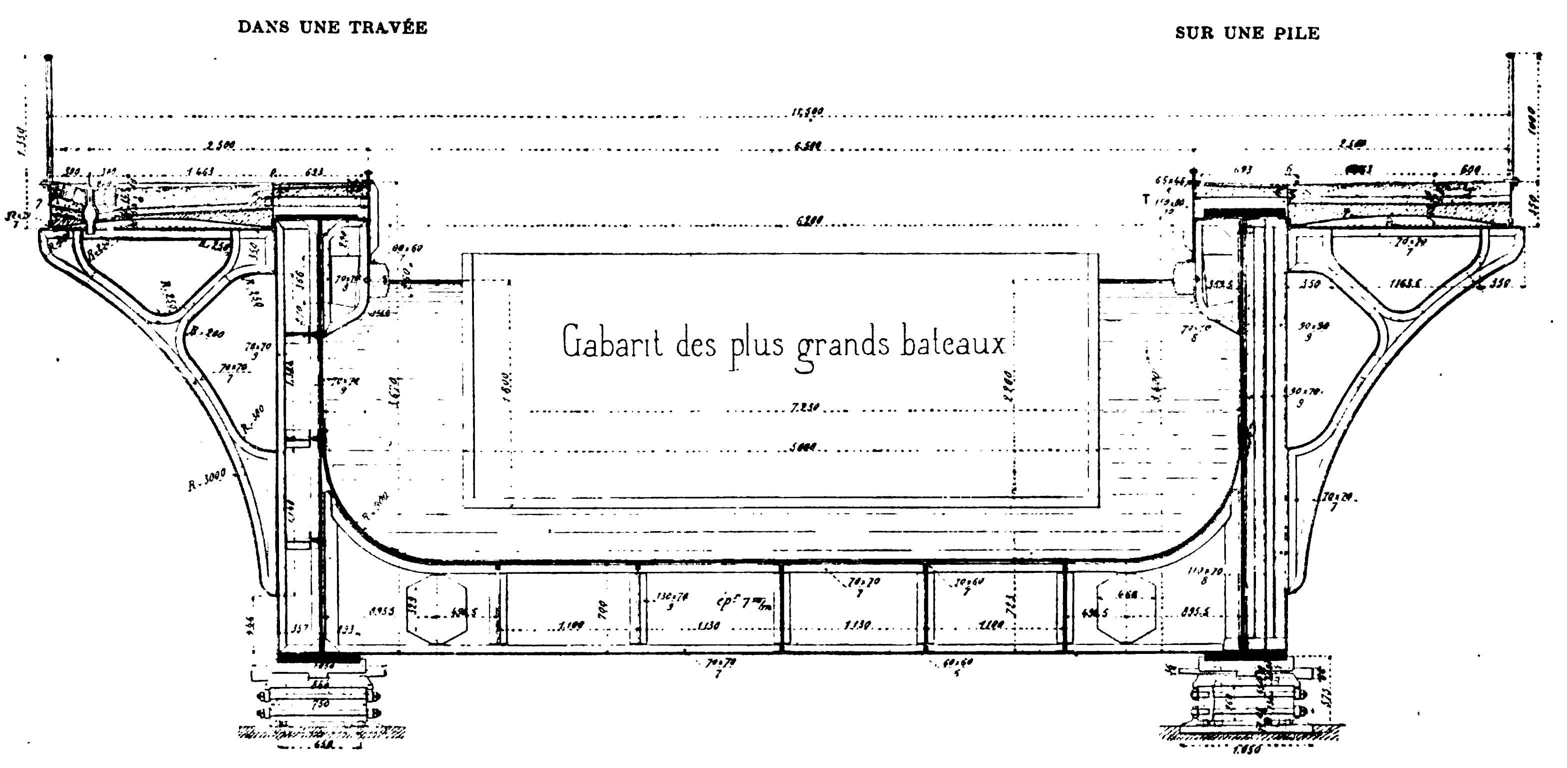
Il est d'ailleurs indispensable d'employer du caoutchouc d'excellente qualité. Celui qu'on vend habituellement dans le commerce contient une trop forte proportion de soufre, qui le rend à la fois plus lourd et plus cassant. Il faut prendre une qualité spéciale qui ne renferme que 3 ou 4 0/0 de soufre et qui est connue sous le nom de *caoutchouc de Para flottant*, tant à cause de sa provenance que de la propriété caractéristique suivante. Sa densité est sensiblement égale à celle de l'eau ; quand on le jette à l'eau, il doit flotter ou, au moins, se maintenir entre deux eaux ; l'expérience est facile à faire et permet de le reconnaître aisément.

64. Pont-canal de Briare. — Le pont-canal au moyen duquel le canal latéral à la Loire passe par-dessus ce fleuve, à Briare, pour se souder au canal de Briare, constitue la plus importante application faite jusqu'à ce jour du métal à la construction des ponts-canaux ; il a été mis en service en 1894.

Entièrement en acier, formé essentiellement de deux poutres de rive continues dont le dessous est à 1 m. 50 au-dessus des plus hautes eaux connues de la Loire, il présente *quinze* travées de 40 mètres de portée (d'axe en axe des appuis) chacune. La longueur de la bâche métallique portée par ces deux poutres est de 602 m. 78, mais si l'on tient compte d'une travée supplémentaire de 10 m. 15 de portée entre appuis sur l'ancienne branche du canal latéral longeant la rive droite du fleuve ainsi que des culées, on arrive pour la longueur totale de l'ouvrage au chiffre de 662 m. 69 [1]. C'est le plus long des

1. Cet ouvrage fait l'objet d'une description détaillée dans la publication intitulée : *Collection de dessins distribués aux élèves de l'Ecole des Ponts et Chaussées*, tome III, p. 1125.

Digitized by Google



Pl. XXXIX. PONT-CANAL DE BRIARE — DEMI-COUPES TRANSVERSALES

Digitized by Google

ponts-canaux construits en France ; celui d'Agen, sur la Garonne, composé de 23 arches en maçonnerie de 20 mètres d'ouverture, ne mesure que 580 mètres de longueur totale.

Le pont est construit pour une seule voie ; ses dispositions sont, dans leur ensemble, celles du pont-canal de l'Albe.

Les poutres de rive servent à la fois à soutenir la bâche métallique formant cuvette et à en constituer les parois, dans leur partie supérieure (pl. XXXIX).

La distance des poutres de rive est de 7 m. 259 d'axe en axe; leur hauteur est de 3 m. 40 hors cornières ; l'âme a 0 m. 009 d'épaisseur ; les semelles, en nombre variable suivant le point considéré, se composent de tôles de 11 millimètres d'épaisseur et de 0 m. 65 de largeur.

Les poutres de rive sont reliées par des entretoises distantes d'axe en axe, de 1 m. 475 pour les travées de rive et de 1 m. 45 pour les travées courantes. Sur les appuis des culées, les deux entretoises extrêmes ne sont distantes que de 1 mètre ; au-dessus des appuis des piles, trois entretoises sont groupées avec un écartement de 1 m. 15 seulement de l'une à l'autre (pl. XL, page 157).

Les entretoises sont reliées entre elles par des longerons ; sur les unes et les autres s'appuient les tôles du fond de la bâche qui viennent se raccorder, en se recourbant, avec l'âme des poutres de rive. La largeur intérieure de la bâche est de 7,25 ; le mouillage est de 2 m. 20 ; la surface mouillée, en tenant compte des congés aux deux angles, est de 15 mq. 60 ; la valeur de n est de 1,73 pour les bateaux à 1 m. 80 d'enfoncement.

A chaque entretoise correspond, à l'extérieur de la bâche, de chaque côté, une console servant à supporter le chemin de halage par l'intermédiaire de tôles embouties qui vont d'une console à l'autre.

Les chemins de halage présentent une largeur de 2 m. 50 suffisante pour le passage d'une paire de chevaux attelés de front; d'une *courbe* comme on dit en terme de marine. Ils ne

Digitized by Google

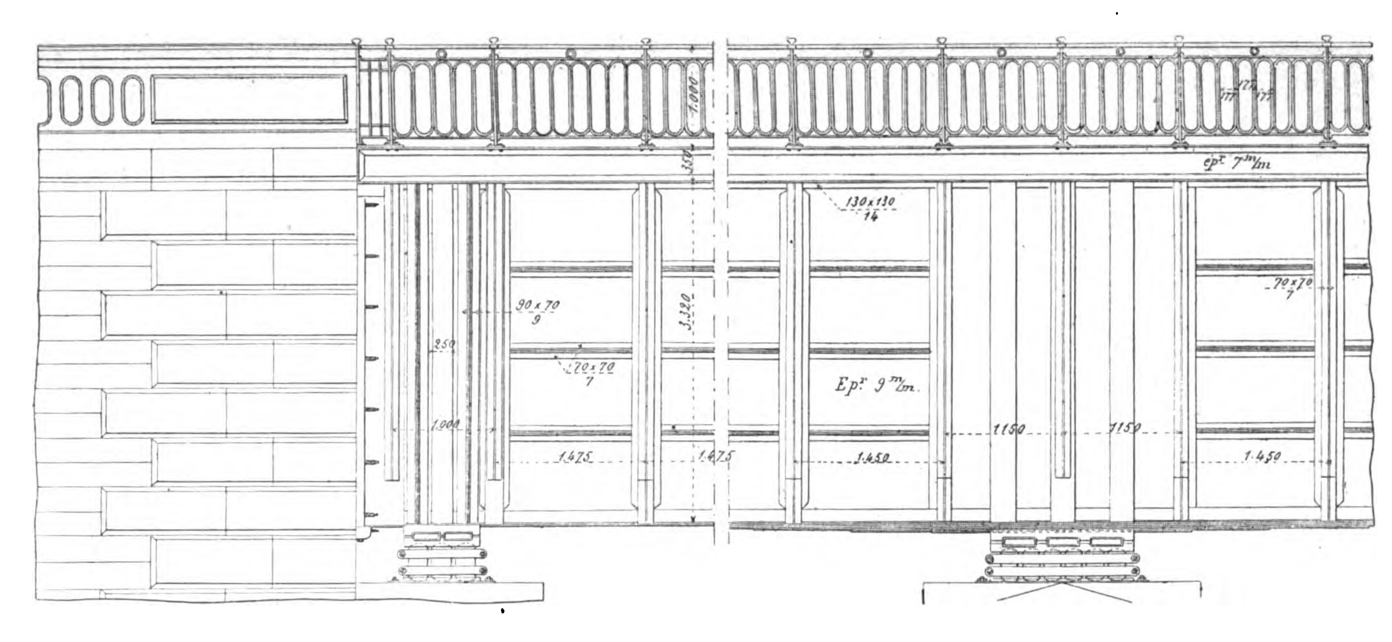
s'étendent pas seulement au-dessus des consoles dont nous venons de parler et au-dessus des semelles des poutres de rive ; ils débordent à l'intérieur de la cuvette.

A cet effet, à chaque console extérieure correspond une petite console intérieure qui sert aussi à fixer à la hauteur du plan d'eau la longrine en bois destinée à préserver l'ossature en métal du choc direct des bateaux. Ces petites consoles font une saillie totale de 0 m. 525 sur la paroi intérieure de la cuvette, mais si le passage réservé aux bateaux se trouve ainsi ramené à 6 m. 20, la largeur de la section mouillée n'est pas réduite d'une manière sensible.

Cette disposition des chemins de halage constitue une réelle amélioration par rapport à ce qui avait été fait au pont-canal de l'Albe. Non seulement elle réduit le poids du métal, mais surtout elle diminue la tendance au renversement des poutres de rive résultant de la situation en porte-à-faux des chemins de halage, tendance à laquelle il convient d'autant plus d'avoir égard qu'elle s'exerce dans le même sens que la poussée au vide de l'eau contenue dans la cuvette. C'est également dans le but de réduire la tendance au renversement des poutres de rive qu'on a cherché à alléger les chemins de halage et que, pour les supporter, on a très avantageusement substitué des tôles embouties aux voûtelettes en briques du pont-canal de l'Albe.

La disposition du joint, à la jonction de chaque extrémité de la bâche avec les maçonneries des culées, mérite dans l'espèce une attention toute spéciale. En effet, cette bâche, longue de plus de 600 mètres, est fixée sur la pile n° 8 ; elle se trouve ainsi divisée en deux parties correspondant, l'une aux *huit* travées de rive gauche, l'autre aux *sept* travées de rive droite, qui peuvent se dilater librement en pénétrant dans les chambres réservées à cet effet dans les culées. On a admis que l'écart des températures extrêmes pourrait atteindre 70° centigrades (de — 20° à + 50°), ce qui correspond à une variation de longueur de 0 m. 246 d'un côté et 0 m. 216 de l'autre.

Digitized by Google



Pl. XL. PONT-CANAL DE BRIARE. — ÉLÉVATIONS PARTIELLES

Digitized by Google

Dans cette hypothèse, on a multiplié les précautions (Pl. XLI),

Comme un piston dans un cylindre, l'extrémité de la bâche mobile s'engage dans une bâche fixe de faible longueur encastrée et scellée dans les maçonneries de la culée correspondante, et tout d'abord des étoupes sont comprimées dans l'intervalle entre les deux bâches. Des tampons presse-étoupes maintiennent ces étoupes serrées.

D'autre part, une bande en caoutchouc en forme de V relie la bâche fixe à la bâche mobile sur tout leur pourtour, à l'intérieur de la chambre d'étanchement. Cette bande de caoutchouc fait soufflet ; ses deux extrémités peuvent s'écarter de quantités importantes sans que la matière soit soumise à un effort notable. Dans tous les cas, l'eau de la bâche ne peut arriver aux étoupes que si elle a traversé le caoutchouc.

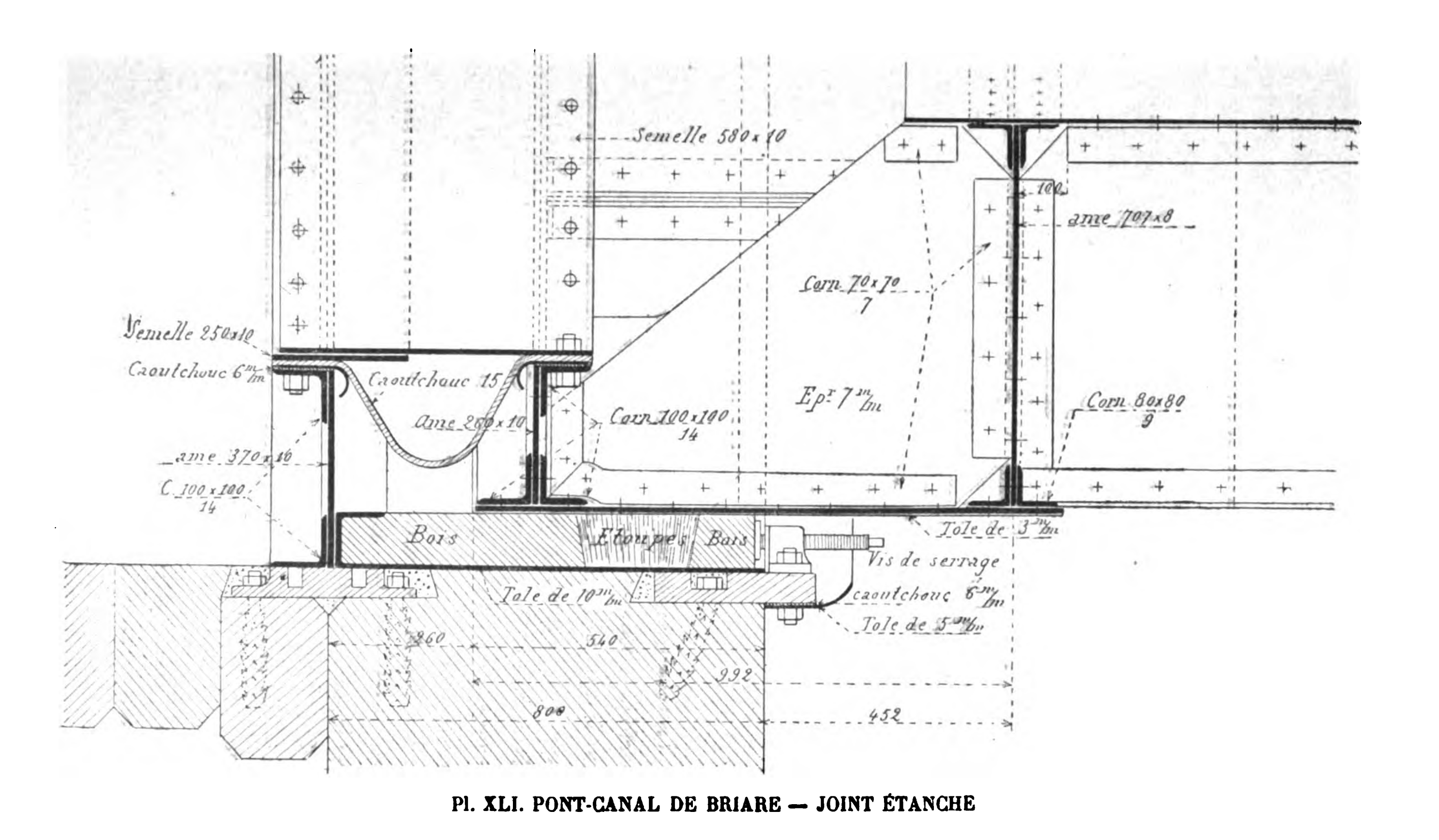
Enfin les extrémités de la bande de caoutchouc sont fixées au moyen de platines en tôle boulonnées l'une sur la bâche fixe, l'autre sur la bâche mobile. La platine boulonnée sur cette dernière est assez large pour fermer complètement l'orifice du V (le caoutchouc se trouve ainsi préservé de tout contact avec des corps étrangers) et pour recouvrir l'autre platine par rapport à laquelle elle peut se mouvoir à joint serré.

Ainsi les moyens d'étanchement à la jonction du métal et des maçonneries sont au nombre de trois qui se succèdent dans l'ordre suivant, en allant de l'intérieur vers l'extérieur de la bâche : 1° tôles glissant l'une sur l'autre à frottement ; 2° joint en caoutchouc en forme de V ; 3° étoupes serrées entre les deux bâches et maintenues par des tampons presse-étoupes.

La combinaison de ces divers moyens d'étanchement a donné d'excellents résultats, mais on est en droit de se demander si les deux premiers n'auraient pas suffi et si on n'aurait pas pu se dispenser de l'emploi des étoupes.

En tout cas, il est bon d'insister sur les précautions prises pour le bon fonctionnement et la conservation du joint en caoutchouc, précautions dont la figure 20 permet de se ren-

Digitized by Google



Pl. XLI. PONT-CANAL DE BRIARE — JOINT ÉTANCHE

Digitized by Google

dre bien compte. Elle montre à grande échelle comment est fixée, sur la bâche fixe par exemple, l'extrémité correspondante de la bande de caoutchouc.

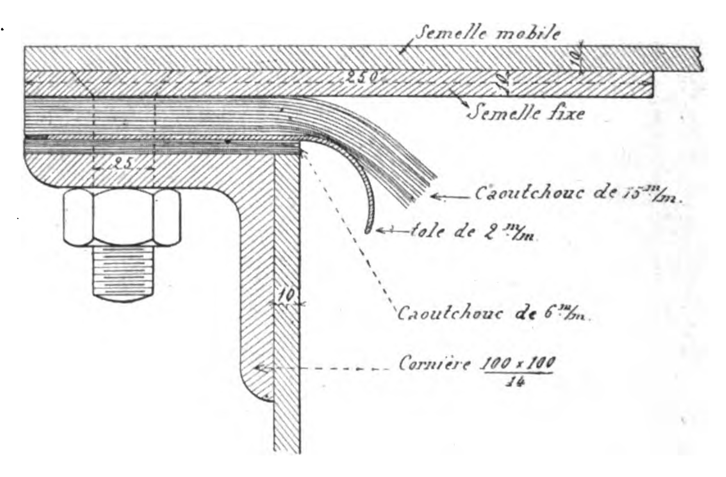


Fig. 20.

Cette extrémité est pincée entre la platine dont nous avons parlé plus haut et une tôle mince en forme de volute destinée à servir de guide au caoutchouc et à prévenir les flexions brusques qui, souvent répétées, pourraient en amener la rupture. Entre cette tôle mince et la cornière sur laquelle tout le système est boulonné, une autre bande de caoutchouc est interposée pour assurer l'étanchéité, et, du côté extérieur, la tôle mince n'affleure pas tout à fait le bord de la cornière, de telle sorte que les deux caoutchoucs qu'elle sépare peuvent venir au contact.

Il n'est pas sans intérêt de dire que depuis la mise en service du pont-canal de Briare, les V en caoutchouc ont été changés et cela sans trop de difficulté ni de dépense.

65. Observations générales. — En résumé, les différents ponts-canaux que nous avons pris comme exemples, parmi les plus importants de notre pays, présentent une seule

Digitized by Google

voie de bateau et les dimensions de la cuvette sont telles que, pour un bateau du type légal à plein chargement (enfoncement de 1 m. 80), le rapport *n* varie entre 1,263 (Troussey) et 1,752 (Liverdun). Dans ces conditions, la plupart de ces ouvrages opposent au mouvement des bateaux des résistances excessives qui se traduisent généralement, en l'absence de moyens de traction suffisamment énergiques, par une lenteur de marche désespérante.

Sur les canaux à grande fréquentation, et pour les ponts-canaux de longueur modérée, il faudrait, croyons-nous, aborder franchement les types à double voie. Pour les ouvrages d'un développement exceptionnel, où la double voie entraînerait un accroissement excessif des dépenses de premier établissement, il convient tout d'abord de donner à la cuvette des dimensions notablement supérieures à celles adoptées jusqu'ici. En second lieu, il semblerait rationnel d'y installer des moyens de traction mécaniques comme on l'a fait dans les tunnels.

Pour les ponts-canaux à une seule voie de bateau, l'emploi du métal présente de sérieux avantages sur celui de la maçonnerie. Il permet de franchir les cours d'eau avec une moindre hauteur disponible ; avec les joints en caoutchouc à la jonction des maçonneries, il assure une complète étanchéité ; enfin il est économique [1].

En effet, d'après M. Guillemain, les ponts-canaux en maçonnerie auraient rarement coûté moins de 3.000 francs par mètre courant et les plus chers auraient dépassé 10.000 francs. Or le prix par mètre courant du pont-canal de Briare n'a pas été de plus de 4.400 ou de 6.000 francs, selon qu'on n'y comprend pas ou qu'on y comprend certains travaux importants exécutés aux abords.

1. Nous avons déjà signalé (page 136) ce fait, favorable à l'emploi du métal, que les ponts-canaux n'ont jamais à supporter de surcharge accidentelle de quelque importance ni à subir les effets destructeurs du passage de charges roulantes considérables animées d'une grande vitesse.

Digitized by Google

Le métal conserverait-il ses avantages pour les ponts-canaux à double voie ? D'autre part, ne pourrait-on pas objecter aux ponts-canaux métalliques comme aux autres constructions de même nature l'incertitude où l'on est encore sur leur durée [1] ?

A ce dernier point de vue, il faut reconnaître que les dispositions adoptées aussi bien pour le pont-canal de Briare que pour ceux de l'Albe et de Condes prêtent à une sérieuse critique. Nous considérons comme fâcheux d'avoir fait des âmes des poutres de rive un élément constitutif de la bâche formant cuvette.

Ces âmes sont une partie essentielle des poutres sur lesquelles repose entièrement la solidité et la durée de la construction ; il est assurément peu satisfaisant de les avoir exposées aux causes de destruction prématurée qui peuvent résulter du contact de l'eau et du choc des bateaux ou au moins des engins des mariniers.

Il serait bien préférable à notre avis d'avoir une ossature uniquement destinée à la résistance et complètement indépendante de la bâche uniquement destinée, elle, à contenir l'eau de la cuvette. La bâche ne ferait que reposer sur l'ossature ; elle pourrait s'user, être avariée, être réparée, être remplacée sans qu'il y eût besoin de toucher aux parties essentielles de la construction.

L'avantage ne serait pas moins grand au point de vue esthétique. Les poutres de rive pourraient être faites en treillis dont la couleur claire se détacherait sur le ton plus sombre de la cuvette. Par un choix judicieux des teintes, par le jeu naturel des ombres, l'aspect généralement déplaisant des grandes poutres pleines serait certainement beaucoup amélioré.

1. L'emploi exclusif de tôles et de fers de forte épaisseur, l'exécution très soignée des peintures et leur entretien minutieux, la galvanisation même du métal, lorsque la chose est possible, constituent, on le sait, les meilleures précautions pour augmenter les chances de durée des constructions métalliques.

Digitized by Google



Disons en terminant que la congélation de l'eau dans la cuvette constitue un sérieux danger aussi bien pour les ponts-canaux métalliques que pour ceux en maçonnerie. On veillera donc avec soin, en temps de gelée, à ce que la glace soit toujours cassée sur une certaine largeur dans toute la longueur de ces ouvrages. Il est également essentiel, lors de la construction d'un pont-canal, de toujours se réserver les moyens de l'isoler du reste du canal et de mettre, au besoin, la cuvette complètement à sec.

§ 3

TRAVERSÉE DES RIVIÈRES A NIVEAU

66. Définition. — En présence des difficultés et de la dépense considérable que comporte la construction des ponts-canaux à la rencontre des grands cours d'eau, on a, dans certains cas, pris le parti de traverser ces derniers à niveau. Assurément il peut paraître plus simple de faire descendre les bateaux du canal dans la rivière au moyen d'une première écluse, de traverser le cours d'eau naturel et de reprendre ensuite la voie navigable artificielle sur la rive opposée au moyen d'une seconde écluse. Mais, généralement, l'économie réalisée dans les frais de premier établissement a pour contrepartie des difficultés d'exploitation qui deviennent intolérables dès que le trafic prend une certaine importance.

67. Traversée de la Loire à Châtillon, par le canal latéral. — Parmi ces traversées à niveau, la plus connue, on peut dire la plus célèbre, et cela surtout à raison de ses défectuosités, était la traversée de la Loire par le canal latéral à ce fleuve, à Châtillon. Le canal latéral à la Loire, établi sur la rive gauche, se relie au canal de Briare qui est

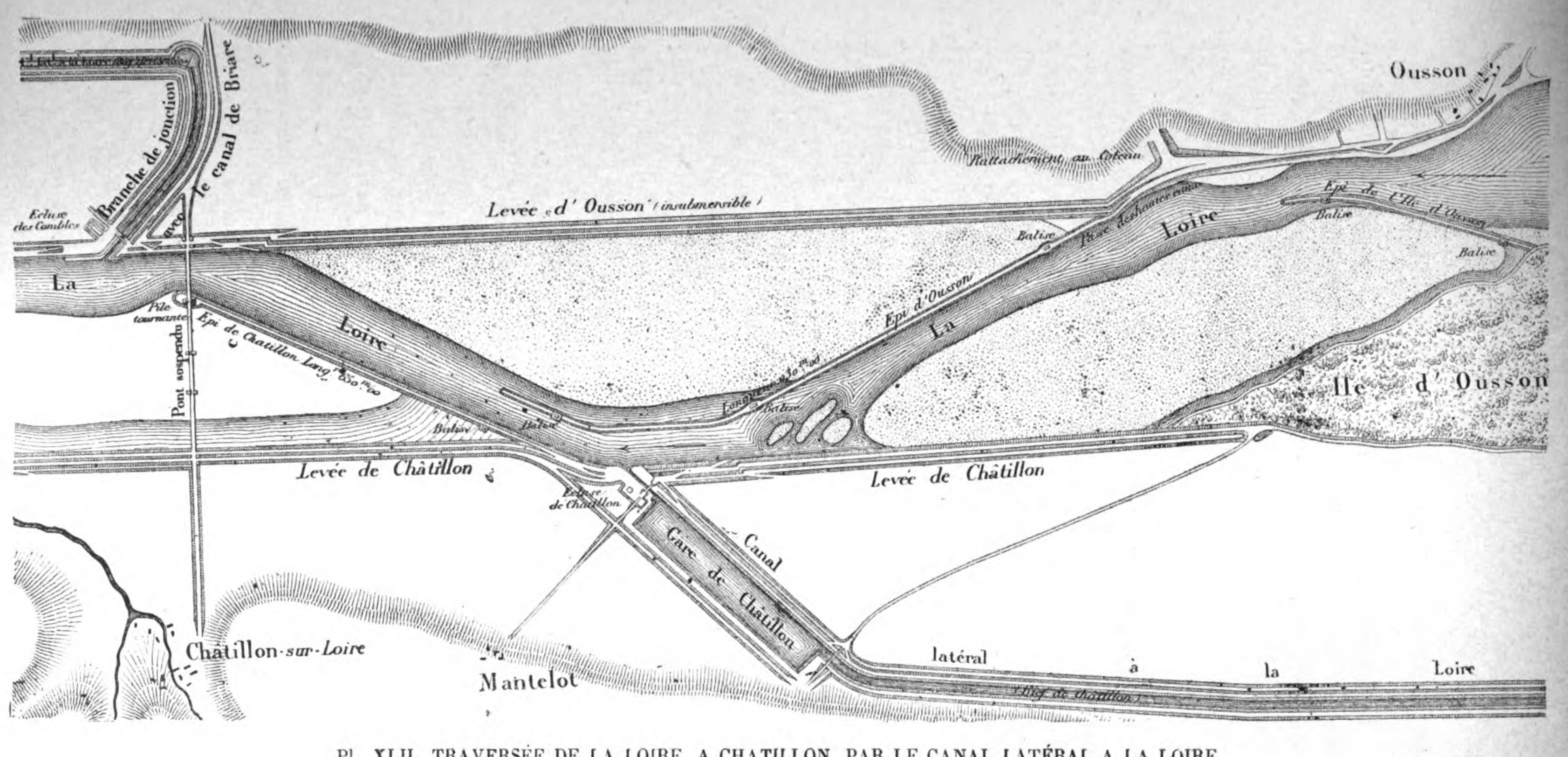

Digitized by Google

tout entier sur la rive droite. La jonction se fait maintenant au moyen du pont-canal de Briare dont nous avons donné plus haut une description sommaire. La traversée de Châtillon, dont les ouvrages sont conservés et continuent à être entretenus, comme une ressource en cas d'accident au pont-canal, n'a donc plus, fort heureusement pour la batellerie, qu'un intérêt rétrospectif, et il suffira de quelques mots pour faire comprendre combien son fonctionnement était défectueux.

Les deux écluses de communication avec la Loire, celle de Châtillon sur la rive gauche et celle des Combles sur la rive droite (pl. XLII), sont distantes d'un kilomètre environ. Entre les deux, le cours du fleuve est libre ; aucun barrage n'en soutient le niveau à une hauteur fixe. Pour obliger le chenal à toucher la rive gauche au droit de la première écluse et la rive droite au droit de la seconde, et en vue d'y obtenir le mouillage nécessaire, on a eu recours à un système d'épis ou digues submersibles ayant pour objet de dessiner et de resserrer le dit chenal. La digue d'Ousson est dérasée à 0 m. 50 et celle de Châtillon à 1 m. 20 au-dessus de l'étiage. Dans la partie où il est compris entre les deux, le chenal mesure 55 mètres de large. On sait à quels mécomptes a donné lieu, le plus souvent, ce genre d'ouvrages ; l'insuffisance des résultats obtenus à Châtillon n'a donc rien qui puisse surprendre.

Interrompue par la violence du courant dès que les eaux s'élevaient à 1 mètre au-dessus de l'étiage, la navigation était également suspendue, faute de mouillage, lors des basses eaux. Les bateaux étaient alors obligés d'attendre, quelquefois pendant plusieurs semaines, s'ils ne prenaient le parti d'alléger leur chargement. C'est ainsi que pendant les années 1894, 1895 et 1896, malgré de fréquents dragages, le nombre moyen de jours, par an, que le mouillage en Loire a été égal ou supérieur à 1 m. 60 n'a pas dépassé 153 ; d'où nécessité d'alléger pendant 212 jours par an.

Digitized by Google



Pl. XLII. TRAVERSÉE DE LA LOIRE, A CHATILLON, PAR LE CANAL LATÉRAL A LA LOIRE

Digitized by Google

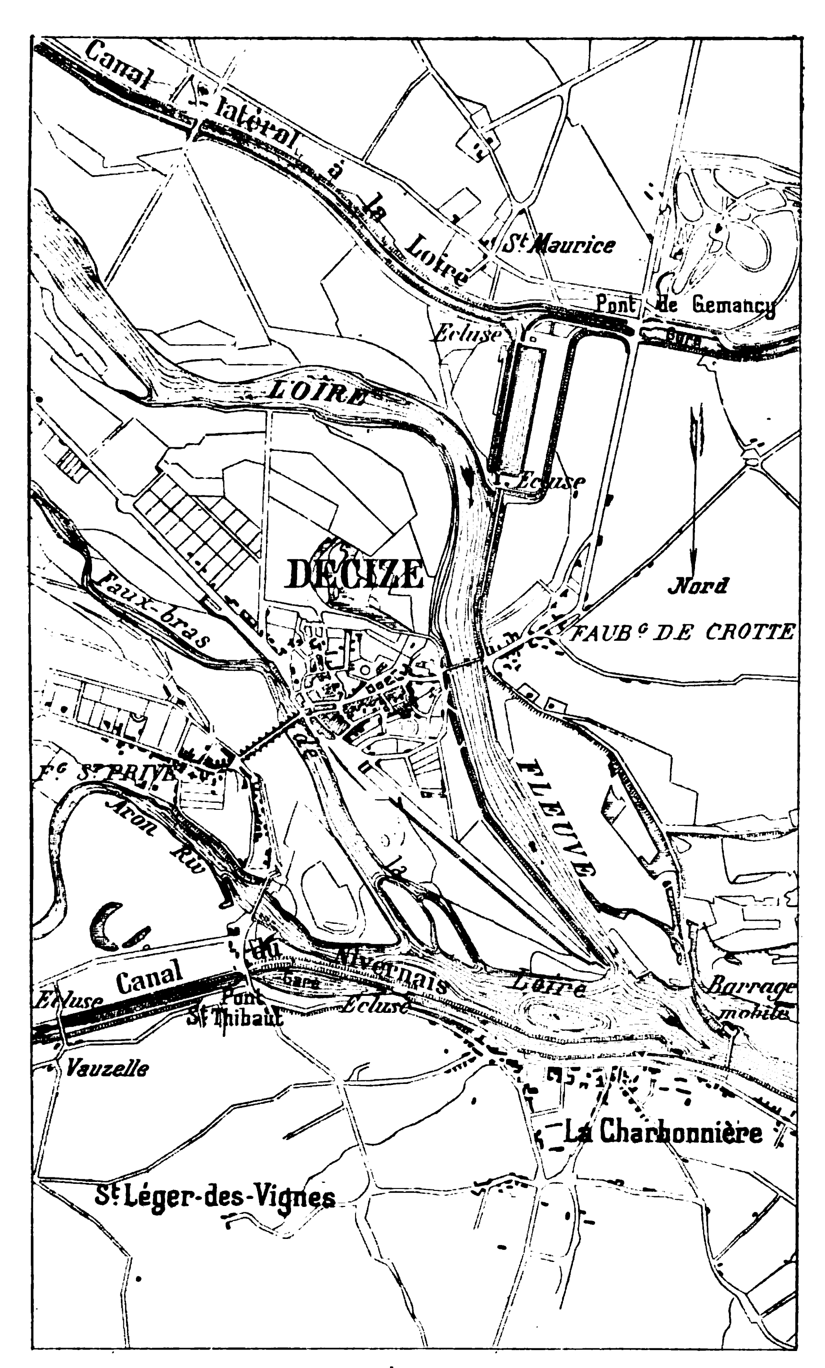
En réalité, la traversée de la Loire à niveau à Châtillon, malgré l'installation, dans les derniers temps, d'un service de touage [1], constituait sur la grande ligne de navigation de Paris à Lyon, par le Bourbonnais, une véritable lacune que la construction du pont-canal de Briare a fort heureusement comblée.

68. Traversée de la Loire, à Decize, pour la jonction du canal latéral et du canal du Nivernais. — A Decize, la jonction du canal latéral à la Loire et du canal du Nivernais se fait également au moyen d'une traversée à niveau du fleuve. Entre l'extrémité de l'embranchement du canal latéral, sur la rive gauche, à Saint-Maurice, et l'origine du canal du Nivernais, sur la rive droite, à La Charbonnière, la distance est de 2 kilomètres environ (pl. XLIII) ; mais la traversée s'opère dans le remous d'un barrage mobile construit en aval de ce dernier point, ce qui doit être considéré comme la condition *sine qua non*, de l'existence d'une traversée à niveau. En temps ordinaire, la navigation trouve dans ce bief spécial de la Loire, à peu près les mêmes conditions que dans un canal ; elle est d'ailleurs facilitée par l'existence d'un service de touage. La solution est donc beaucoup meilleure qu'à Chatillon tout en présentant encore bien des aléas inhérents au régime même du fleuve.

69. Traversée de l'Yonne à Basseville par le canal du Nivernais. — La planche XLIV (page 169) montre que la traversée se fait dans le remous du barrage de Basseville, et il convient de rappeler ici que ce dernier constitue un véritable monument historique. C'est en effet le premier barrage mobile

1. Auparavant, la traction se faisait au moyen de chevaux. Pour permettre à ces derniers de passer de la rive droite à la digue de Châtillon, sur laquelle se faisait le halage sur la rive gauche, une rampe tournante est établie autour d'une des piles du pont suspendu. C'est cette dernière qui est improprement appelée *pile tournante* sur la planche.

Digitized by Google



Pl. XLIII. — TRAVERSÉE DE LA LOIRE, A DECIZE

Digitized by Google

qui ait été construit. C'est à Basseville que M. Poirée a fait, en 1834, la première application de l'invention qui devait produire une véritable révolution dans la navigation intérieure.

L'Yonne en cet endroit est assez peu large pour qu'on ait pu jeter d'une rive à l'autre une passerelle qui assure la continuité du halage ; la traversée se fait donc dans des conditions relativement faciles.

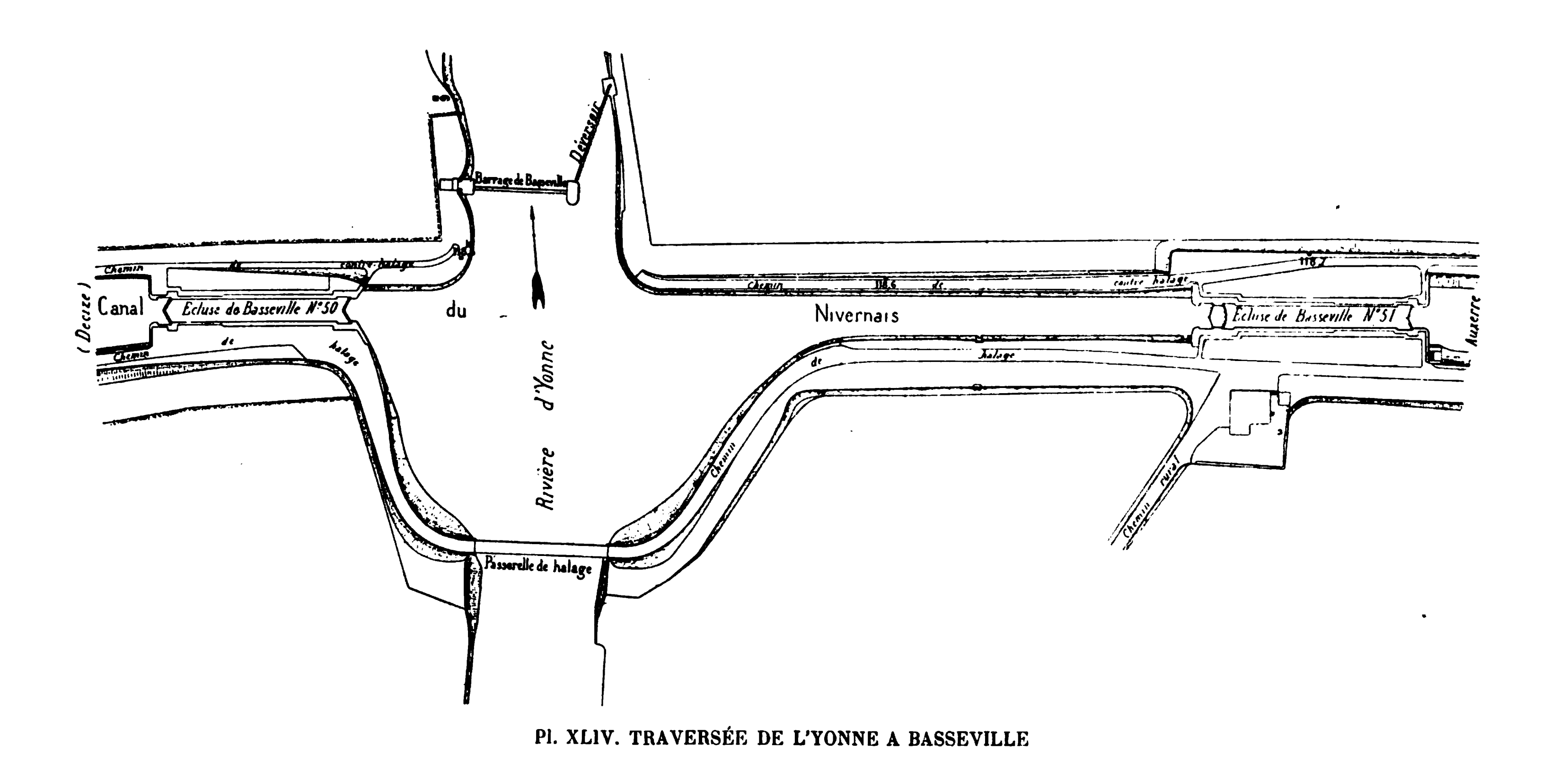
Dans le bief du canal à l'amont de l'écluse de Basseville n° 50, le niveau de l'eau est toujours supérieur à celui de l'Yonne ; la disposition des portes de cette écluse ne présente aucune particularité. Dans le bief à l'aval de l'écluse de Basseville n° 51, au contraire, le niveau de l'eau, le plus souvent inférieur à celui de l'Yonne, peut se trouver au-dessus lorsque le barrage est abattu ; aussi la tête amont de l'écluse n° 51 est-elle munie de deux portes busquées en sens contraire.

70. Conclusions. — En résumé, si on excepte certaines solutions toutes spéciales qui peuvent être justifiées par des circonstances toutes spéciales aussi [1], et que nous n'avons pas à envisager ici, les traversées à niveau ne sont acceptables que quand elles peuvent s'effectuer à travers une rivière canalisée, au moins sur le point considéré, d'un régime presque aussi sûr que celui d'un canal. Mais même dans ce cas et pour peu que le trafic soit un peu actif, il est rare qu'on n'arrive pas à reconnaître que les ponts-canaux constituent la seule solution véritable du problème de la traversée des rivières.

Près des embouchures des fleuves, là où la navigation exige au-dessous des passages supérieurs des hauteurs libres absolument incompatibles avec l'existence d'un pont-canal fixe, on peut avoir recours à des ponts-canaux tournants dont

1. Rentrent dans cette catégorie, par exemple, les dispositions adoptées pour la traversée du Libron par le canal du Midi, dont on trouve une description dans le *Cours de navigation intérieure* de M. Guillemain, tome II, page 200.

Digitized by Google



Pl. XLIV. TRAVERSÉE DE L'YONNE A BASSEVILLE

Digitized by Google

on trouve en Angleterre un exemple sur le canal maritime de Manchester.

71. Pont-canal tournant de Barton. — Le pont-canal tournant de Barton est destiné à maintenir indépendantes la navigation du canal maritime de Manchester et celle du canal de Bridgewater qui se coupent, à Barton, avec une différence de niveau de 7 m. 35 insuffisante pour que les navires qui fréquentent le grand canal puissent passer sous le petit en conservant leur mâture.

La partie tournante est composée de deux volées égales de 36 m. 60 de longueur chacune, couvrant deux passes de 27 m. 40. L'ensemble de ces volées est constitué par deux poutres de rive, en treillis d'acier à mailles triangulaires, de forme Cantilever. La longueur totale de ces poutres est de 78 m. 80 ; leur hauteur au centre de 9 m. 90.

Sur le pont, la cuvette constitue un sas mobile de 5 m. 80 de largeur avec 2 m. 13 de hauteur ; la profondeur d'eau y est de 1 m. 83 (fig. 21). Elle est formée par une bâche en tôle de forme rectangulaire, avec une forte cornière dans chaque angle et des membrures en cornières d'acier ; une préceinte constituée par un robuste fer en I, relie la partie supérieure de toutes les membrures et est rivée sur les poinçons verticaux du treillis des poutres de rive, tandis que le fond de la bâche repose sur les entretoises des volées. Une légère passerelle de halage est portée par des consoles, d'un côté de la cuvette, à 3 m. 15 au-dessus du niveau de l'eau.

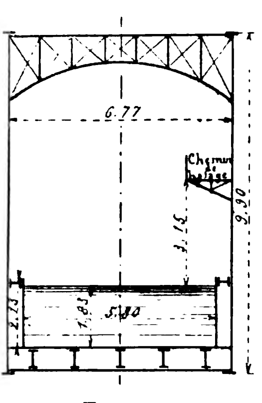


Fig. 21.

Le poids total de la partie mobile est de 1.620 tonnes, dont 775 d'eau et 845 de fer et d'acier.

Digitized by Google

Le dispositif d'étanchement est représenté dans les deux croquis de la figure 22.

Au lieu d'avoir en plan une forme circulaire, les extrémités de la bâche sont coupées en sifflet et le pont ne peut s'ouvrir que dans un seul sens, qui est indiqué par les flèches. Mais en revanche, les faces BC et EF de ses extrémités peuvent venir exercer une pression énergique contre les abouts fixes ABCD et GEFH (croquis de gauche).

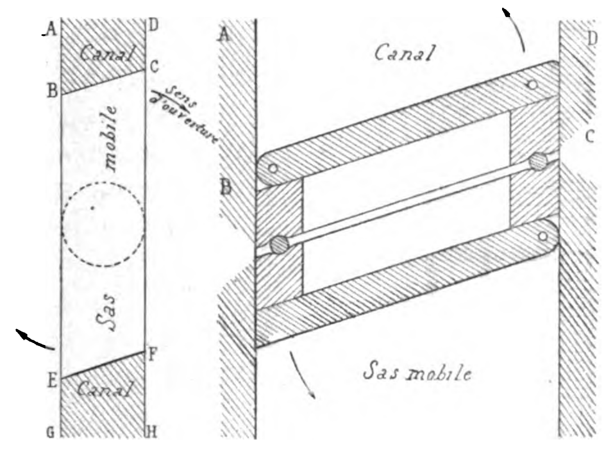


Fig. 22.

Ceci étant, les extrémités du sas mobile et les deux parties du canal qui leur font face sont terminés par de solides cadres en fer en forme d'⊔, qui viennent se serrer fortement l'un contre l'autre pendant la fermeture. Dans les cadres fixes est ménagée une rainure et dans cette rainure est logé un gros boudin en caoutchouc (croquis de droite). Immédiatement en arrière des cadres de fermeture, se trouvent des portes d'écluse tant dans le sas mobile que dans les branches de terre. Vu la faible largeur du canal, ces portes sont à un seul vantail et s'ouvrent dans le sens des flèches. La petite quantité d'eau comprise entre les portes contigues est la seule dépensée lors de l'ouverture du pont. Une fois les portes fer-

Digitized by Google

13,70
16,20
3,70
2,30
2,30
2,76
Canal de Roanne à Digoin
2,20
15,00

Pl. XLV. — PONT-RIVIÈRE D'OUDAN

Digitized by Google

mées, cette ouverture se fait facilement. Le pont étant à nouveau fermé et l'étanchéité obtenue, une vanne percée dans la porte du côté de terre permet de remplir d'eau l'espace entre deux portes contiguës et, par là, de les rouvrir.

§ 4

PONTS-RIVIÈRES

72. Pont-rivière d'Oudan. — Le passage d'un canal en dessous d'une rivière ou, si on aime mieux, le passage d'une rivière par dessus un canal ne se présente pas fréquemment, au moins pour une rivière d'une certaine importance [1]. On conçoit que l'ouvrage à construire dans ce cas, le *pont-rivière*, n'est autre qu'un pont-canal, avec cette seule différence que les dimensions de la cuvette, au lieu d'être déterminées d'après les convenances de la navigation, sont commandées par la nécessité de donner passage aux plus grands débits de la rivière.

A l'appui de cette indication, nous donnons ci-contre un dessin du pont-rivière d'Oudan construit sur le canal de Roanne à Digoin, à peu de distance de Roanne.

1. Il n'est pas rare que les tranchées profondes interceptent certains petits écoulements d'eau qu'il est indispensable de rétablir à leur niveau primitif (eaux d'irrigation, par exemple) ; on y parvient aisément au moyen de légers ouvrages jetés d'un bord à l'autre.

Digitized by Google

Digitized by Google

CHAPITRE V

ASCENSEURS ET PLANS INCLINÉS

78. Considérations générales. — L'obligation de racheter une grande différence de niveau sur un parcours restreint est une des plus sérieuses difficultés que l'on puisse rencontrer dans l'établissement des canaux de navigation. Les différentes solutions que nous avons envisagées jusqu'ici ne laissent pas de présenter d'assez sérieux inconvénients.

Si on multiplie les écluses en conservant à chacune d'elles une chute modérée, on se heurte à tous les inconvénients que présentent les *petits biefs* sans compter la perte de temps résultant de la nécessité de passer à de nombreuses écluses.

Les écluses à sas superposés, si elles ne comportent pas deux séries de sas accolés, obligent à consacrer des périodes plus ou moins longues au passage exclusif des bateaux marchant dans un même sens, montants ou descendants, ce qui impose alternativement aux uns et aux autres des pertes de temps considérables.

Les écluses à très grande chute, comme la première écluse du canal Saint-Denis, à Paris, ne présentent pas les inconvénients signalés ci-dessus, mais elles comportent une consommation d'eau considérable.

C'est en vue d'échapper aux sujétions que nous venons d'énumérer qu'on a été conduit à étudier l'application de divers appareils mécaniques à l'élévation des bateaux. Selon que ces derniers sont élevés verticalement ou en suivant une

Digitized by Google

rampe plus ou moins forte, les ouvrages portent le nom d'*ascenseurs* ou de *plans inclinés*.

Mais il est une autre distinction très importante à faire. Le procédé employé peut comporter l'élévation du bateau seul, à sec, ou celle d'un sas plein d'eau dans lequel le bateau flotte. La première solution constitue une simplification notable, par suite de la réduction considérable du poids à mettre en mouvement, mais la seconde a l'avantage de ne rien changer aux conditions dans lesquelles le bateau se trouve d'habitude. Les bateaux de navigation intérieure ne sont pas d'une construction bien robuste ; dès qu'ils présentent des dimensions un peu importantes, et surtout lorsqu'ils sont chargés, la mise à sec, l'échouage peut devenir pour eux une opération périlleuse.

En ce qui concerne les ascenseurs, il s'agit toujours du transport d'un sas plein d'eau dans lequel le bateau flotte ; mais, suivant leur mode de construction et de fonctionnement, ces appareils peuvent se diviser en *ascenseurs funiculaires*, *ascenseurs hydrauliques* et *ascenseurs sur flotteurs*.

Au contraire, la distinction sur laquelle nous avons insisté plus haut doit être faite dans le transport des bateaux suivant une rampe plus ou moins forte. Dans cet ordre d'idées, nous examinerons successivement les *plans inclinés pour le transport des bateaux à sec* et les *plans inclinés pour le transport des bateaux à flot ;* nous dirons ensuite quelques mots des *chemins de fer pour bateaux* qui ont donné lieu dans ces derniers temps à de nombreuses études témoignant d'un retour à l'idée du transport à sec.

Un point sur lequel il convient également d'insister au début de ce chapitre, c'est que nous ne pourrons donner sur les différents systèmes d'ascenseurs et de plans inclinés que des explications très sommaires. Le sujet est trop vaste ; on peut en juger par les indications suivantes.

Le tracé du canal en construction de la Marne à la Saône présente, sur le versant de la Saône, sur une longueur d'un

Digitized by Google

peu plus de 3 kilomètres, une chute de 41 mètres. Un concours a été ouvert en 1881, entre divers grands constructeurs français et étrangers, pour l'étude d'appareils mécaniques susceptibles de racheter cette chute ; 13 projets ont été présentés. Les rapports, les études, les calculs qui ont été produits, tant par les ingénieurs du service que par une commission spéciale chargée de classer les projets présentés au concours, et qui constituent un véritable traité sur la matière, ne forment pas moins de trois volumes de plus de 800 pages [1]. M. l'ingénieur en chef Cadart a été invité à en faire un résumé ; ce résumé comprend encore 180 pages de texte et 12 planches [2]. Les *Annales des ponts et chaussées* ont dû se contenter d'insérer un simple compte rendu bibliographique (1er trimestre de 1898). Nous aurons souvent à citer ce concours de 1881.

C'est également en 1881 qu'a été publiée une très intéressante notice de M. Hirsch, alors Ingénieur ordinaire, sur les élévateurs et plans inclinés pour canaux [3]. Nous laisserons souvent au lecteur le soin de s'y reporter, pour ce qui concerne les ouvrages antérieurs à la date précitée.

§ 1

ASCENSEURS FUNICULAIRES

74. Applications anciennes ; projets plus récents. — Dans ce système, le sas destiné à recevoir le bateau flot-

1. Ces rapports, études, etc., ainsi que les projets présentés, ont été déposés à la Bibliothèque de l'Ecole des Ponts et Chaussées, 28, rue des Saints-Pères, à Paris.

2. Publié dans les *Nouvelles Annales de la construction*, numéros de mai à octobre 1898. Un tirage à part est en vente chez Baudry, éditeur, 15 rue des Saints-Pères, à Paris.

3. Paris, Imprimerie Nationale, 1881.

Digitized by Google

tant, suspendu à des chaînes qui passent sur des poulies de renvoi, est équilibré, soit au moyen d'un autre sas semblable, soit au moyen de contrepoids. On comprend qu'il soit aisé d'amener le sas ou chacun des sas alternativement en regard et au contact de l'un et de l'autre des deux biefs séparés par la chute à racheter. Il suffit alors qu'on puisse mettre le sas et le bief qui se correspondent en communication au moyen de portes dont ils sont tous deux munis, pour permettre à un bateau de passer de l'un dans l'autre.

Tels étaient les sept ascenseurs établis, de 1834 à 1836, sur le *Great western Canal*, en Angleterre, pour racheter des chutes dont la plus élevée atteignait 14 mètres. On trouve dans la notice de M. Hirsch une description détaillée du plus important de ces ouvrages, mais ils n'existent plus depuis longtemps déjà. Ils fonctionnaient assez bien, paraît-il ; seulement les embarcations auxquelles ils donnaient passage, longues de 7 m. 93 et larges de 1 m. 98, avec un tirant d'eau de 0,69 au plein chargement de 8 tonnes, étaient plutôt des barques que des bateaux.

Au concours de 1881, deux projets d'ascenseurs funiculaires ont été présentés l'un par M. Barret et le Creusot, l'autre par M. Leslie. Pour les deux, la chute était la même (20 m. 50) [1], mais le premier projet comportait deux sas qui se faisaient équilibre, tandis que le second n'en comportait qu'un seul équilibré par des contrepoids.

C'est le projet de M. Leslie qui a été classé en première ligne sur les treize projets présentés ; cependant aucun ascenseur funiculaire n'est, à notre connaissance, actuellement en service.

1. Dans l'un et l'autre projet, deux ascenseurs étaient nécessaires pour franchir la chute totale de 41 mètres.

Digitized by Google

§ 2

ASCENSEURS HYDRAULIQUES

75. Ascenseur d'Anderton. — La meilleure manière de faire connaître le principe des ascenseurs hydrauliques est de donner une description sommaire de la première application qui en a été faite, en 1875, à Anderton, non loin de Liverpool, par l'ingénieur anglais Edwin Clark. Il s'agissait de mettre en communication le canal de Trent et Mersey avec la rivière Wheaver, affluent de la Mersey. La différence de niveau entre les deux voies navigables est de 15 m. 35 ; le canal a été tout d'abord amené au moyen d'un pont aqueduc en fer au-dessus d'une île de la rivière.

L'ascenseur comporte deux sas, destinés à recevoir les bateaux flottants, qui forment, à vrai dire, les deux plateaux d'une balance hydraulique (pl. XLVI, page 181). Ces deux sas étant égaux se font équilibre quand l'eau est tenue dans l'un et l'autre à la même hauteur.

Chacun d'eux repose sur la tête du piston d'une presse hydraulique, dont le cylindre s'enfonce dans le sol qui forme le fond de la rivière. Les deux cylindres sont égaux et reliés par un tuyau ; le volume d'eau compris entre les deux pistons est dès lors invariable et l'un des sas ne peut descendre sans que l'autre remonte d'une quantité précisément égale. Pour déterminer le mouvement de la balance hydraulique, il suffit d'ajouter dans l'un des sas un lest d'eau supplémentaire, qui surmonte les résistances dues aux frottements et à l'inertie.

Le sas arrivé en haut de sa course se raccorde, à joint étanche, par son extrémité, avec la tête du bief du canal. Dans le bas, le sas s'immerge dans l'eau de la rivière, et la communication n'est établie avec cette dernière que lorsque les plans d'eau se sont mis de niveau à l'intérieur et à l'extérieur.

Digitized by Google

Mais, au moment de cette immersion, le sas descendant perd une partie de son poids ; il cesse donc de faire équilibre au sas montant, la machine s'arrête et elle n'irait pas à bout de course, sans les dispositions spéciales dont nous allons indiquer le principe.

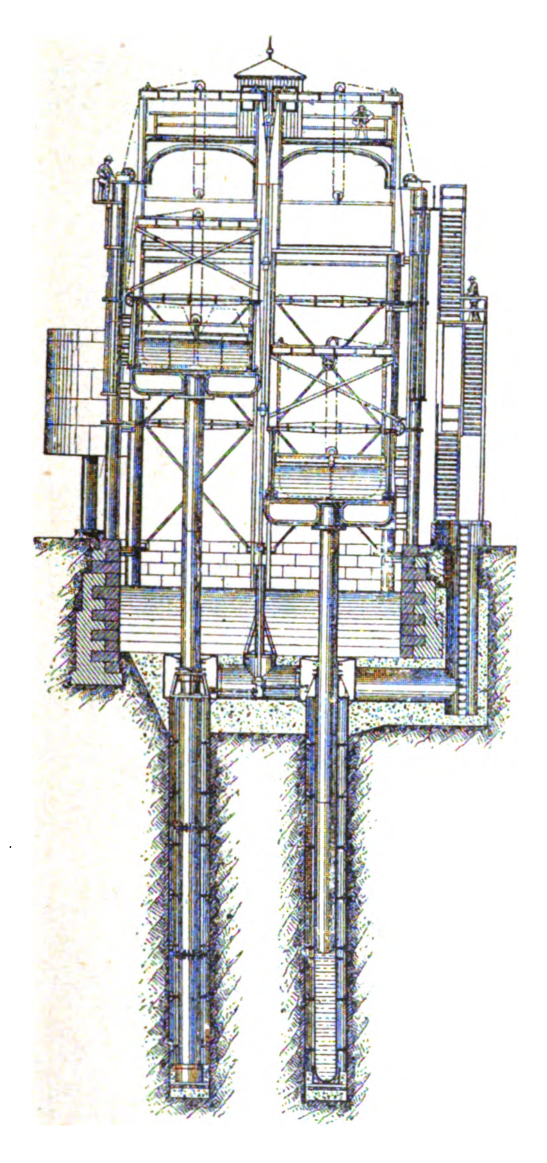
La communication entre les deux cylindres est établie, non par un simple tuyau à robinet, mais par une distribution permettant de mettre chaque cylindre en relation, soit avec le cylindre voisin, soit avec un échappement sans pression, soit enfin avec une conduite d'eau sous pression. Le jeu de ce système est facile à comprendre. Lorsque le mouvement de l'appareil s'arrête, par suite de l'immersion partielle du sas descendant, on ferme la communication entre les deux cylindres ; puis, en manœuvrant convenablement la distribution, on met le cylindre du sas descendant en relation avec l'échappement, et son propre poids lui fait achever sa course ; de son côté, le cylindre du sas montant est mis en relation avec l'eau sous pression qui achève de l'élever jusqu'au niveau du bief supérieur.

La hauteur de l'eau dans le sas montant est d'ailleurs réglée par des déversoirs d'une forme particulière, de telle sorte qu'elle soit toujours plus petite que dans l'autre sas.

Les quatre angles de chaque sas sont munis de patins en fonte d'une grande hauteur, glissant dans des guides fixés à des colonnes verticales parfaitement stables et solidement contreventées pour résister à toute poussée oblique.

Les bateaux qui fréquentent le canal de Trent et Mersey sont de deux espèces distinctes. Les uns naviguent seuls avec un chargement de 80 à 100 tonnes, les autres par couple, portant ensemble 60 tonnes. Chaque sas de l'élévateur a 22 m. 85 de longueur, 4 m. 73 de largeur et une hauteur d'eau de 1 m. 37 au minimum. Avec ces dimensions, il loge, soit un grand bateau, soit un couplage et pèse 240 tonnes. Pendant la manœuvre, le sas descendant est chargé d'environ 15 tonnes de plus que l'autre pour vaincre les frottements.

Digitized by Google



Pl. XLVI. ASCENSEUR D'ANDERTON

Digitized by Google

L'eau sous pression, nécessaire pour faire parvenir le sas montant au plus haut point de sa course ou pour tout autre usage, est fournie par un accumulateur de force que charge une machine à vapeur actionnant des pompes foulantes.

Nous n'entrerons pas dans plus de détails ; aussi bien s'agit-il seulement ici, ainsi que nous l'avons dit plus haut, de faire connaître le principe de l'appareil. Nous ajouterons cependant que l'ascenseur d'Anderton est encore en service et nous dirons quelques mots du grave accident qui s'y est produit le 18 avril 1882.

A cette date, la virole qui formait la partie supérieure du cylindre en fonte d'une des presses hydrauliques s'est brisée au moment où le sas correspondant était au plus haut point de sa course ; ce dernier est retombé dans la rivière, sans autre avarie toutefois.

L'accident a été attribué aux diverses causes suivantes [1] :

1° Affaiblissement produit dans la virole supérieure par la tubulure du tuyau d'accouplement ;

2° Mauvaise qualité de la fonte de la virole ;

3° Efforts perturbateurs et imprévus qui se sont développés dans le métal de la virole à la suite du tassement de la fondation en bois tendre du fond de la presse ;

4° Existence de deux presse-étoupes distants verticalement de 0 m. 75 et absence de guidage.

Cette dernière cause paraît avoir été prépondérante. En effet, les guidages des sas d'Anderton sont placés aux quatre angles ; comme ils doivent se prêter à la dilatation des tôleries, ils laissent nécessairement un jeu assez considérable, tandis que les presse-étoupes devant demeurer étanches et par conséquent rester fort serrés ne laissent aucun jeu au

1. L'influence de ces causes a été analysée et discutée avec le plus grand soin dans une note de M. Gustave Cadart, ingénieur des Ponts et Chaussées, reproduite, à titre d'annexe, à la suite du *Cours de navigation intérieure* de M. Guillemain (tome II, page 527).

Digitized by Google

piston. Or, des efforts longitudinaux et transversaux s'exercent fatalement sur le sas et doivent être équilibrés par des réactions provenant des parties fixes. Les réactions qui ne pouvaient se développer entre les guidages et le sas se développaient entre les presse-étoupes et le piston ; elles étaient considérables et susceptibles de compromettre la durée des pièces portant les presse-étoupes, en particulier de la virole supérieure des cylindres des presses.

Il suffit, pour conjurer les effets des causes numéros 2 et 3, d'apporter dans la construction les soins voulus. Nous verrons plus loin comment, dans les ascenseurs établis postérieurement à celui d'Anderton, on a évité les inconvénients signalés sous les numéros 1 et 4 ; il n'y a donc aucune conclusion à tirer de l'accident du 18 avril 1882 contre la valeur du système.

70. Ascenseur des Fontinettes. — Le canal de Neuf-fossé, qui fait partie de la grande ligne de Paris à la mer du Nord, est une des voies navigables les plus importantes du nord de la France ; le trafic s'y est élevé, en 1901, à 1 million 767.397 tonnes à distance entière. On y trouvait, et on y trouve encore d'ailleurs aux Fontinettes, près de Saint-Omer, une échelle simple de cinq écluses superposées rachetant une chute de 13 m. 13 (planche XLVII, page 185)

Pour faire face à un mouvement aussi considérable, on avait été obligé de réglementer le passage aux écluses des Fontinettes ; les lundi, mercredi, vendredi et dimanche de chaque semaine étaient affectés exclusivement à la navigation ascendante, les mardi, jeudi et samedi à la navigation descendante [1]; il en résultait que certains bateaux étaient exposés à attendre 24 et même 48 heures leur tour de passage. En outre, les sas des écluses avaient des longueurs utiles variant de 34 m. 80 à 35 m. 10 et, par conséquent, ne pouvaient donner passage aux bateaux du type légal, longs de 38 m. 50.

1. *Rivières canalisées*, pages 301 et suivantes.

Digitized by Google

En vue de remédier à cette situation et en même temps de faire l'essai de l'application à des bateaux de 300 tonnes de jauge d'un ascenseur du genre de celui d'Anderton, le gouvernement français a prescrit, en 1881, la construction aux Fontinettes d'un ascenceur à côté des écluses.

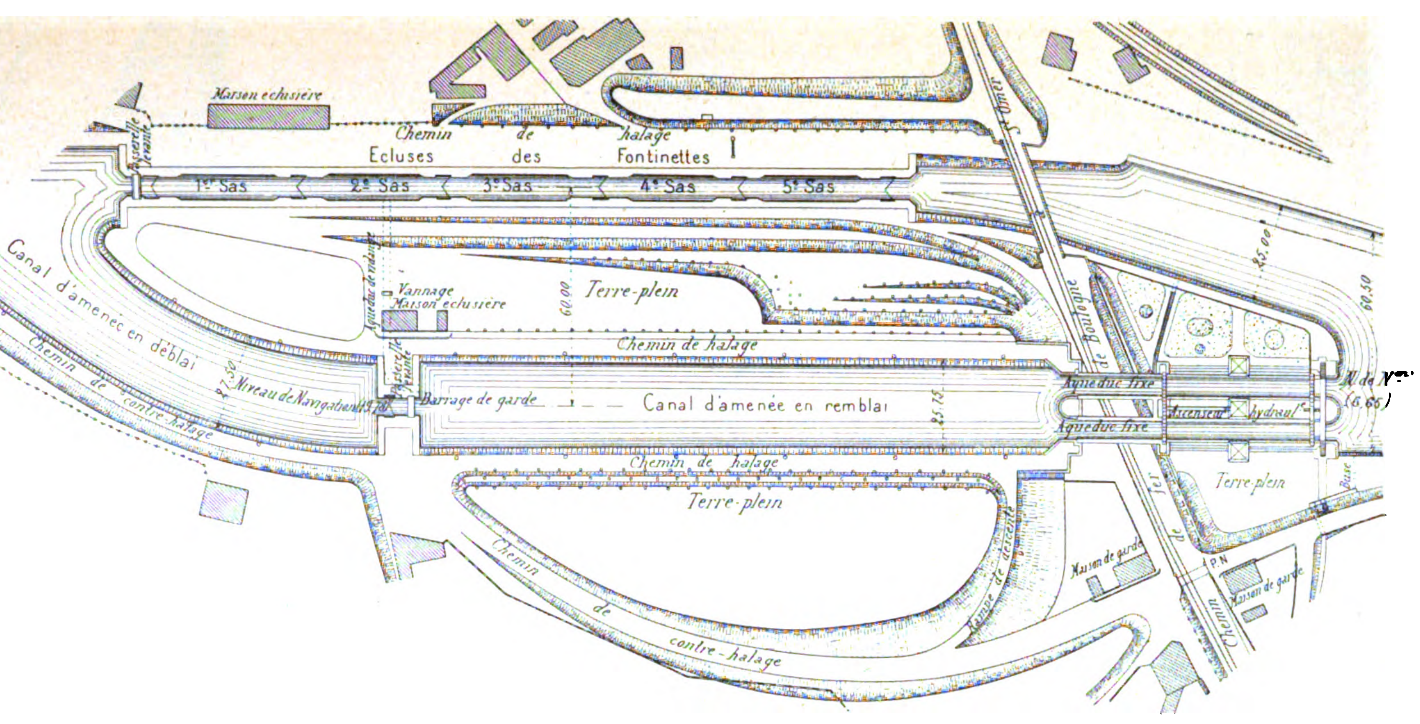
A cet effet, on a ouvert sur la rive droite du canal de Neuffossé (pl. XLVII), parallèlement aux écluses, une dérivation qui franchit le chemin de fer de Boulogne à Saint-Omer à l'aide d'un pont-canal métallique ou plus exactement de deux ponts-canaux, chacun à une seule voie de bateau, placés côte à côte, de 20 m, 80 de portée. La culée aval de ce pont forme un mur de chute, immédiatement à l'aval duquel se trouve l'ascenseur proprement dit. Les planches XLVIII, XLIX et L (pages 186, 187 et 188) représentent, l'une en plan, l'autre en coupe longitudinale, la troisième en coupe transversale, la partie la plus intéressante de l'ouvrage, celle qui est située à l'aval du mur de chute, c'est-à-dire celle qui est comprise entre l'extrémité aval de la dérivation du bief d'amont et l'extrémité amont du bief d'aval.

Chaque sas mobile a une longueur totale de 40 m. 35 et une longueur utile de 39 m. 50. Il se compose de deux poutres de rive espacées de 5 m. 60 d'axe en axe, mesurant, hors cornières, 5 m. 50 de hauteur au milieu, et 3 m. 50 aux extrémités ; ces poutres sont reliées par des entretoises de 0 m. 525 de hauteur espacées de 1 m. 50.

Dans la partie centrale, les entretoises sont remplacées par quatre sommiers de 1 m. 50 de hauteur, espacés de 1 mètre seulement, boulonnés sur la tête du piston de la presse hydraulique correspondante. A cet effet la tête du piston s'évase au moyen de fortes nervures, de manière à présenter la forme d'un rectangle de 3 m. 40 sur 3 m. 10 de côté. Le bordage a couramment 0 m. 01 d'épaisseur et 0 m. 015 dans la partie centrale.

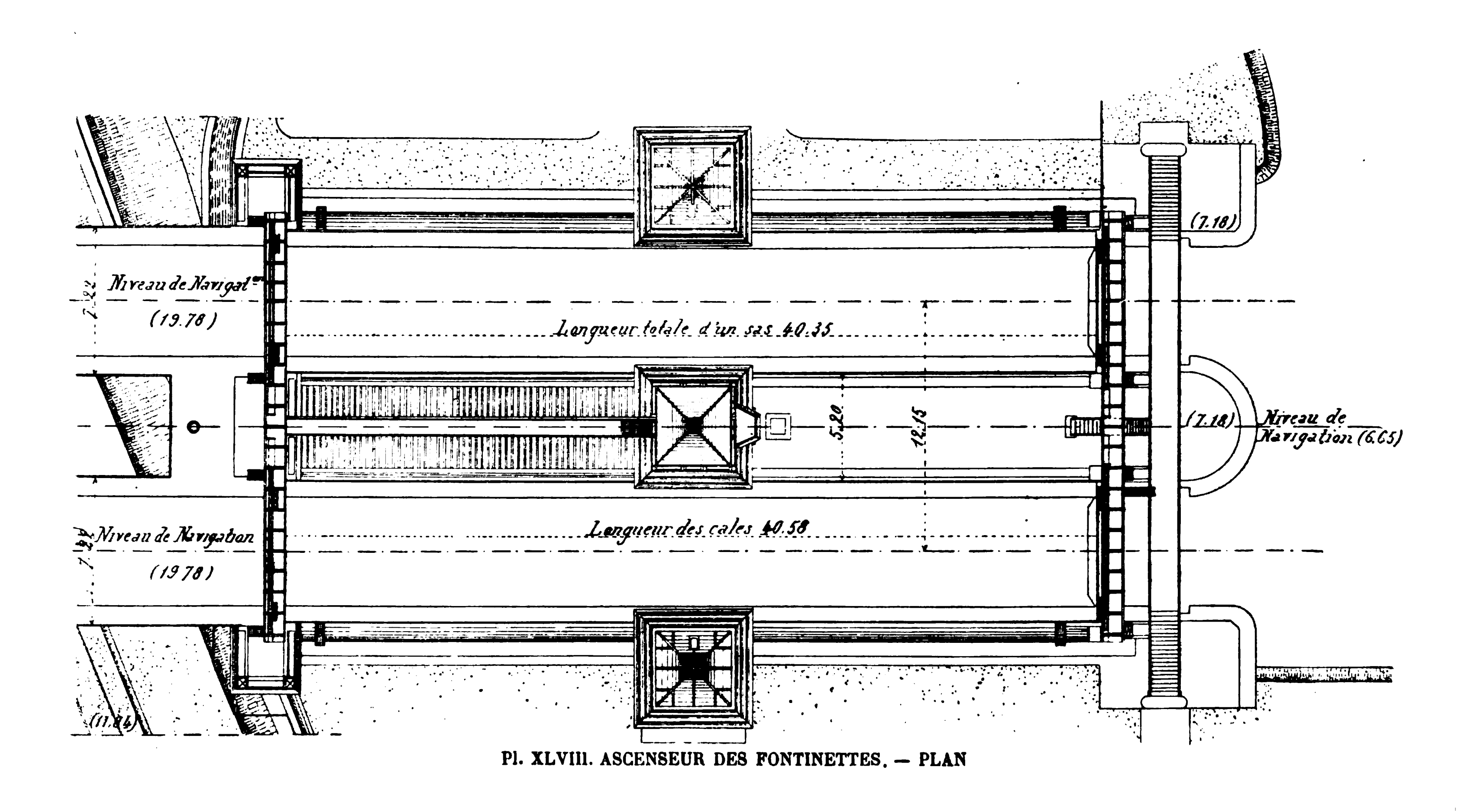
La hauteur d'eau dans le sas est de 2 m. 10 au minimum. Les abouts sont fermés par des portes levantes.

Digitized by Google



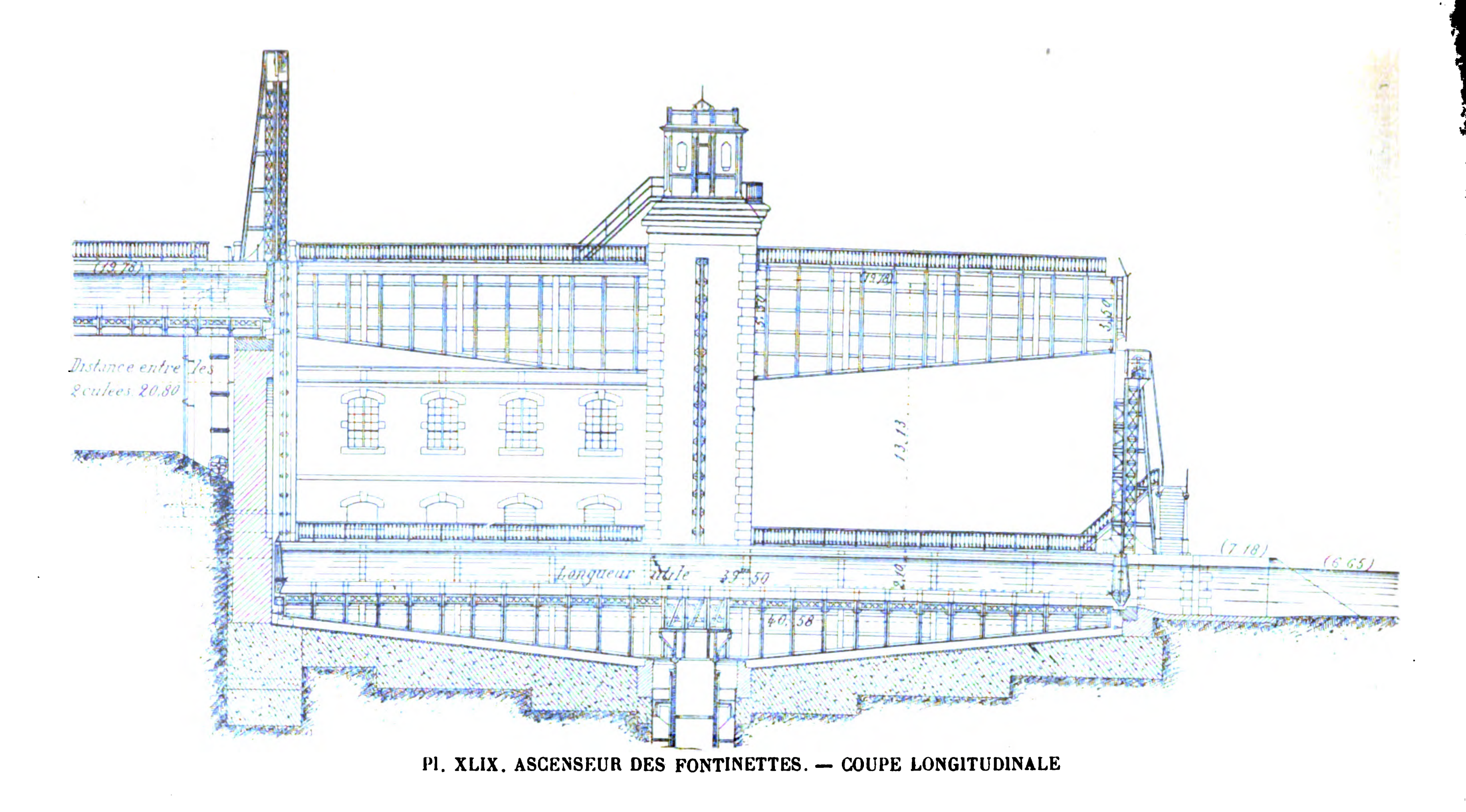
Pl. XLVII. PLAN GÉNÉRAL DES ÉCLUSES ET DE L'ASCENSEUR DES FONTINETTES

Digitized by Google



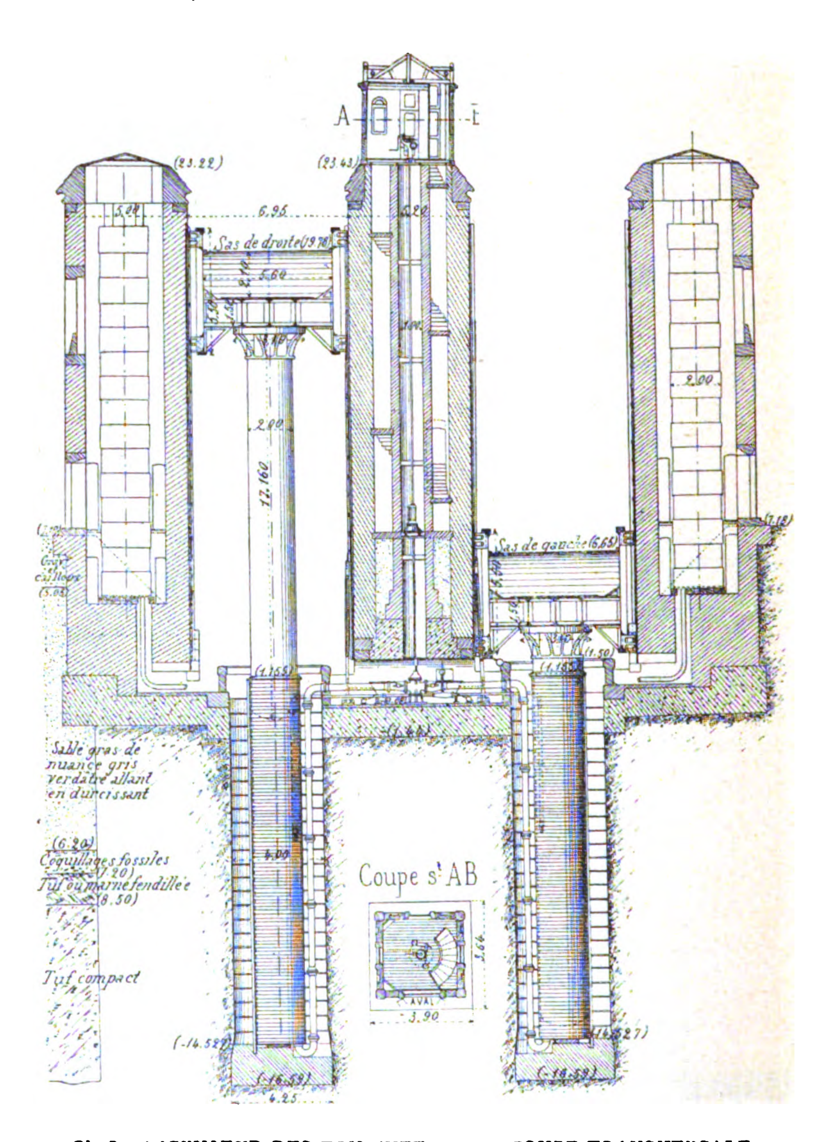
Pl. XLVIII. ASCENSEUR DES FONTINETTES. — PLAN

Digitized by Google



Pl. XLIX. ASCENSEUR DES FONTINETTES. — COUPE LONGITUDINALE

Digitized by Google



Pl. L. ASCENSEUR DES FONTINETTES. — COUPE TRANSVERSALE

Digitized by Google

Les sas au bas de leur course se logent dans une cale sèche en maçonnerie, longue de 40 m. 58, établie dans le prolongement et en contre-bas du bief inférieur et divisée dans le sens de la longueur par un massif de maçonnerie de 5 m. 20 de largeur en deux compartiments, larges chacun de 6 m. 95, un pour chaque sas.

Chaque compartiment de la cale sèche est fermé à l'aval par une porte levante, comme l'extrémité de chaque voie du pont-canal.

Les pistons, creux, sont en fonte. Ils ont une longueur totale de 17 m. 16, un diamètre extérieur de 2 mètres et une épaisseur de 0 m. 07. Ils sont formés de tronçons de 2 m. 30 de hauteur au maximum, portant des brides intérieures au moyen desquelles ils sont boulonnés l'un à l'autre. Une feuille de cuivre annulaire, serrée entre deux tronçons consécutifs, assure l'étanchéité du joint (fig. 23, page 200).

Les cylindres des presses hydrauliques, sur la construction desquelles nous reviendrons plus loin, ont 15 m. 682 de hauteur et 2 m. 08 de diamètre intérieur. Ils reposent sur des massifs de béton de ciment, coulés au fond de puits qui ont 4 mètres de diamètre et sont cuvelés en fonte.

La communication entre les presses s'opère à l'aide d'une conduite en fer de 0 m. 25 de diamètre intérieur, qui part du fond de chaque cylindre, remonte dans le puits correspondant et présente, au fond de la cale, entre les deux puits, une branche horizontale, au milieu de laquelle se trouve la valve de communication. Cette branche porte en outre des tubulures reliées à deux *distributeurs*, qui permettent, soit de laisser échapper l'eau de chacune des presses, soit d'y admettre de l'eau sous pression.

Les sas, dans leurs mouvements, sont guidés à l'amont et au centre. Les guides d'amont sont fixés sur le parement d'aval du mur de chute qui termine le bief d'amont, les guides du centre, sur les faces latérales de trois tours carrées en maçonnerie très massives. Ces derniers se compo-

Digitized by Google

sent de forts sabots en acier attachés au sas (pl. LI), embrassant des glissières en fonte boulonnées sur les faces latérales des tours. Ce sont de beaucoup les plus efficaces, leur position permettant de réduire à presque rien le jeu entre les sabots et les glissières, puisque ce jeu n'a pas à varier avec la dilatation longitudinale du sas, conséquence des variations de température.

Les extrémités aval des sas ne sont pas guidées.

C'est au sommet de la tour centrale qu'est construite la chambre d'où le chef de manœuvre, dominant tout l'appareil, ouvre et ferme la vanne de communication et les distributeurs des presses. On accède à cette chambre, soit par un escalier en maçonnerie établi dans la tour, soit par une passerelle métallique qui la fait communiquer avec le mur de chute.

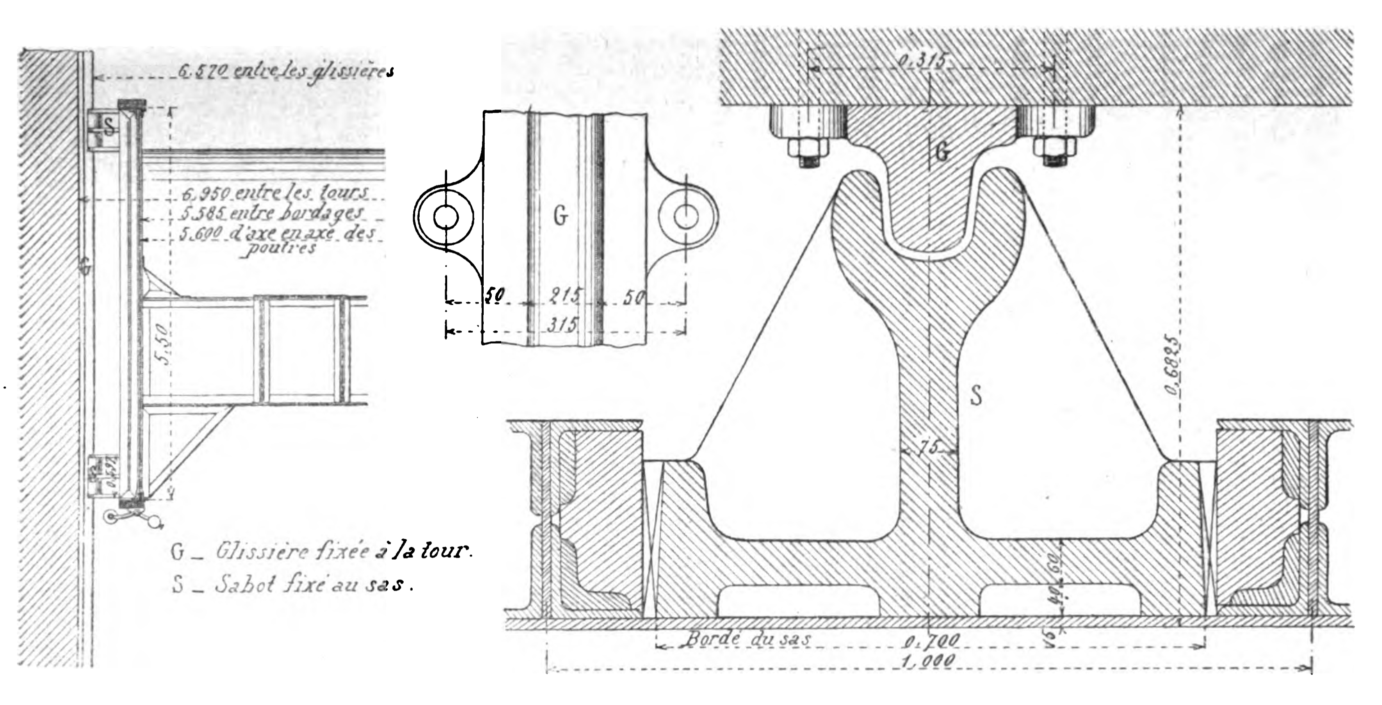
Les tours latérales contiennent des réservoirs cylindriques en tôle (pl. L) qui étaient destinés à servir de *compensateurs* ; on a préféré ne point s'en servir et il n'y a pas à en parler plus longuement.

Quand un sas est en haut de sa course, il existe un jeu de 0 m. 045 environ entre son extrémité d'amont et l'extrémité aval du pont-canal qui se trouve en regard. Avant de lever les portes pour faire entrer ou sortir un bateau, le jeu est fermé à l'aide de *pneumatiques* fixés à demeure sur le pourtour de la tête du pont-canal, protégés par des ressorts en acier et que l'on gonfle en y injectant de l'air comprimé à *une atmosphère et demie*. De petites ventelles percées dans les portes permettent de remplir le vide qui subsiste entre elles, avant d'établir la communication.

Cette disposition se reproduit à la partie inférieure pour la jonction avec le bief d'aval.

Des portiques, construits à l'amont sur le mur de chute et à l'aval sur les bajoyers du canal de fuite, reçoivent à leur partie supérieure *des appareils hydrauliques pour le soulèvement des portes*, qui sont, d'ailleurs, en grande partie équilibrées

Digitized by Google



Pl. LI. ASCENSEUR DES FONTINETTES. — GUIDAGE CENTRAL

Digitized by Google

par des contrepoids et qui, levées, laissent au-dessus du niveau de l'eau une hauteur libre de 3 m. 70. D'ailleurs les portes du canal et celles du sas qui se trouvent en regard peuvent être accrochées l'une à l'autre au moyen d'un mécanisme spécial, de manière à être soulevées ou abaissées toutes deux par une seule et même manœuvre.

A l'aval de l'ascenseur une passerelle métallique assure la communication entre les deux rives et permet de descendre sur le massif de maçonnerie qui partage la cale sèche en deux.

La machinerie, installée dans un bâtiment construit entre les deux compartiments de la cale sèche, en amont de la tour centrale, comprend deux turbines mises en mouvement par l'eau du bief supérieur prise dans une bâche réunissant les deux voies du pont-canal.

L'une de ces turbines, d'une force de 50 chevaux, actionne quatre pompes de compression à double effet qui mettent en charge un accumulateur de 1.200 litres de capacité. L'autre turbine, de 15 chevaux seulement, commande un compresseur d'air pour le gonflement des pneumatiques et une pompe centrifuge destinée à épuiser les eaux qui arrivent dans la cale par suite d'infiltrations, de pertes ou de fausses manœuvres. Une petite machine à vapeur du type *à pilon* permet de continuer les épuisements quand le bief supérieur est en chômage.

Le poids à élever, comprenant un piston, un sas, et l'eau qu'il peut contenir, poids qui reste invariable qu'il y ait ou non un bateau dans le sas, atteint à peu près 800 tonnes. La pression correspondante dans les presses est de 25 atmosphères environ. Mais l'accumulateur a dû être chargé à 30 atmosphères pour assurer leur bon fonctionnement dans toutes les circsnstances.

Voici maintenant comment s'effectuent les manœuvres, telles qu'elles ont été réglées en dernier lieu, en profitant des enseignements de l'expérience acquise au cours de l'exploi-

Digitized by Google

tation. Les indications ci-après, que nous devons à l'obligeance de M. l'ingénieur en chef La Rivière, diffèrent sur plus d'un point de celles données dans les précédents ouvrages.

L'oscillation des sas vient de s'achever; la communication entre les presses vient d'être fermée. L'un des sas, que nous appellerons le sas n° 1, est en haut de course; l'eau y est exactement au même niveau que dans le bief supérieur du canal. L'autre sas, que nous appellerons le sas n° 2, est en bas de course; l'eau y est à 0 m. 30, et même un peu plus pour une raison que nous donnerons plus loin, au-dessus du niveau du bief inférieur du canal. Les manœuvres se suivent alors dans l'ordre suivant.

1° Manœuvres au sas en haut de course (n° 1).

On gonfle les pneumatiques ; on remplit d'eau l'intervalle entre les portes du sas et du canal ; on accroche les portes et on les soulève à toute hauteur ; le bateau montant sort ; *durée 6 minutes*[1].

Un bateau descendant s'approche pour le remplacer ; au moment où il commence à entrer on met le distributeur à l'échappement, de manière à laisser baisser le sas de 0 m. 30 ; il prend sa surcharge en même temps que le courant de l'eau accélère l'entrée du bateau ; *durée 5 minutes.*

On ferme les portes, on met le distributeur à l'admission de manière à relever le sas de 0 m. 30 et on décroche les portes ; on ferme alors le distributeur et on dégonfle les pneumatiques ; le sas est libre, prêt à effectuer une nouvelle oscillation ; *durée 2 minutes.*

2° Manœuvres au sas en bas de course (n° 2).

On ouvre légèrement le distributeur pour mettre le sas qui est un peu trop haut dans une situation telle que l'eau s'y trouve exactement à 0 m. 30 au-dessus du niveau du bief inférieur du canal ; on gonfle les pneumatiques, on remplit

1. Pendant cette période, si le sas baissait légèrement par l'effet des fuites de la presse, on mettrait quelque peu le distributeur à l'admission.

13

Digitized by Google

d'eau l'intervalle entre les portes, on les accroche et on les soulève légèrement pour vider la surcharge ; *durée 2 minutes.*

On ouvre ensuite les portes en grand et le bateau descendant sort ; *durée 4 minutes.*

Le bateau montant qui le remplace entre alors dans le sas ; sa vitesse est moindre que celle du bateau descendant entrant dans le sas n° 1 où il est attiré par le courant dû à la prise de surcharge, mais comme il n'a pas de pont-canal à traverser, il ne met pas plus longtemps ; on ferme les portes, on les décroche, on dégonfle les pneumatiques ; le sas est libre, prêt à effectuer une oscillation nouvelle; *durée 5 minutes.*

Pendant la durée de ces trois périodes, à partir du moment où il a été mis au point, le sas n° 2 obéit à une commande automatique qui l'empêche de s'abaisser sensiblement nonobstant les fuites qui pourraient se produire dans la presse [1].

Quand on veut produire une nouvelle oscillation des sas, on ouvre d'abord à l'admission, pour commencer le mouvement, le distributeur du sas en bas de course (n° 2) ; la mise en pression est ainsi plus douce que si elle se faisait sous l'action de l'autre presse. Cette dernière, celle du sas n° 1, contient en effet à ce moment 41 tonnes d'eau de plus que celle du sas n° 2 ; ces 41 tonnes s'ajoutent aux 65 de la surcharge du sas n° 1 et portent à 106 tonnes la force qui tend à produire le mouvement. Celle-ci diminue progressivement

1. Le sas étant arrivé en bas, la communication entre les deux presses étant interceptée, on pourrait, après la mise au point, laisser le distributeur fermé et le sas ne bougerait pas s'il n'y avait pas de fuites dans la garniture du piston. En fait il y a des fuites et il tend à baisser. S'il arrivait à reposer sur ses tins, la pression diminuerait dans la presse et, par suite, à la reprise de la manœuvre, il y aurait un coup de bélier. Pour éviter cet inconvénient, on a disposé au-dessous du sas des taquets qu'il met en mouvement dès qu'il baisse un tant soit peu ; par l'effet des taquets, le distributeur est mis à l'admission et envoie de l'eau qui compense et au delà les pertes ; le sas remonte. Dès que les taquets sont dégagés le distributeur se referme automatiquement et ce mouvement alternatif se continue ainsi jusqu'au moment où on ouvre le distributeur en grand pour commencer une oscillation nouvelle.

Digitized by Google

au fur et à mesure que l'eau passe de la presse du sas n° 1 dans celle du sas n° 2 ; à la fin de l'oscillation elle n'est plus que de 65 — 41 = 24 tonnes. Quoi qu'il en soit, c'est de cette manœuvre au départ que résulte le petit retard signalé plus haut dans la marche du sas descendant.

Une fois le mouvement du sas n° 2 commencé, on ouvre la communication entre les deux presses et on ferme le distributeur ; l'oscillation se produit et se poursuit jusqu'au moment où les deux sas occupent, mais en ordre inverse, la position que nous avons prise pour point de départ ; on ferme la communication entre les deux presses ; *la durée de l'opération commune aux deux sas a été de 5 minutes.*

Le cycle est alors terminé ; la durée totale moyenne des diverses opérations qu'il comporte s'élève à 18 minutes ; elle se réduirait sans doute à 16, s'il n'y avait pas de pont-canal.

Si on rapproche ces chiffres de celui de 26 minutes donné à l'origine du fonctionnement de l'ascenseur des Fontinettes, on mesure l'importance des perfectionnements que l'expérience a fait introduire dans l'exploitation de ce bel ouvrage.

Les travaux ont été commencés à la fin de l'année 1883 ; les premiers essais de fonctionnement ont eu lieu en novembre 1887 ; l'appareil a été mis en service le 20 avril 1888.

Les dépenses se sont élevées à 1.870.000 francs mais si on construisait aujourd'hui, en profitant de l'expérience acquise, un ouvrage de même importance sur un canal neuf, elles ne dépasseraient probablement pas 1. 400.000 francs.

L'avant-projet a été dressé par M. Edwin Clark, l'auteur de l'ascenseur d'Anderton, qui est resté le conseil des ingénieurs français pendant l'exécution. Les projets définitifs ont été présentés et les travaux dirigés successivement par MM. les Ingénieurs en chef des Ponts et Chaussées Aug. Bertin et Gruson. La construction de la partie métallique a été confiée à forfait à la *Société des anciens établissements Cail.*

L'ascenseur des Fontinettes a subi une avarie grave qui a nécessité sa mise en chômage à partir du 7 avril 1894. Par

Digitized by Google

suite d'un mouvement dans les fondations d'une des presses, celle-ci s'est déversée et un des sas s'est trouvé dans l'impossibilité de fonctionner. La réparation a présenté des difficultés extraordinaires ; on a dû avoir recours à la congélation du sol comme on le fait quelquefois pour le fonçage des puits de mine ; des accidents sont encore venus à la traverse ; bref l'ascenseur n'a pu être remis en service que le 29 mars 1897, c'est-à-dire après une interruption de trois ans.

Que serait-il advenu si l'on n'avait eu la prudence de conserver les écluses qui ont permis de maintenir la navigation après avoir été, toutefois, transformées et mises aux dimensions légales ?

Il convient d'ailleurs d'observer que cet accident, pas plus que celui d'Anderton, n'est de nature à discréditer le principe même des ascenseurs hydrauliques.

Depuis le 29 mars 1897, l'ascenseur a fonctionné de la façon la plus satisfaisante, mais la conservation des écluses contribue encore dans une certaine mesure à cet heureux résultat.

En effet, le fonctionnement de l'ascenseur est suspendu tous les dimanches pour permettre une visite complète et la remise en parfait état, s'il y a lieu, de tous les organes. Les bateaux qui veulent, nonobstant, continuer leur route, passent par les écluses.

Les frais d'entretien et d'exploitation, y compris les travaux de grosse réparation et les dépenses de personnel, se sont élevés, en moyenne, pour les quatre années 1898 à 1901, à 14.400 francs par an. Ce chiffre s'abaisse à 12.300 francs si on ne tient pas compte des travaux de grosse réparation.

77. Ascenseurs du canal du Centre, en Belgique. — Le canal actuellement en construction en Belgique, qui porte le nom de *canal du Centre* et qui réunira le canal de Bruxelles à Charleroi à celui de Mons à Condé, doit racheter, vers son origine, sur une longueur de 7 kilomètres environ seulement, une différence de niveau totale de 66 m. 197. Quatre ascen-

Digitized by Google

seurs sont prévus à cet effet, dont les noms et les chutes sont indiqués ci-dessous :

	Mètres
Ascenseur n° 1 de la Louvière..........	15,397
» n° 2 de Houdeng-Aimeries....	16,934
» n° 3 de Bracquegnies........	16,933
» n° 4 de Thieu......	16,933
Total égal.......	66,197

L'ascenseur de la Louvière était seul terminé en 1902 [1].

Les ascenseurs du canal du Centre belge, et notamment celui de la Louvière, sont établis exactement suivant les mêmes principes que l'ascenseur des Fontinettes ; ils n'en diffèrent que par les dimensions et, par conséquent, par l'importance des poids à mettre en mouvement, ainsi que par certains détails de construction.

Les ascenseurs belges sont destinés à assurer le passage de bateaux longs de 40 m. 50, larges de 5 mètres, susceptibles de porter 360 tonnes environ à l'enfoncement maximum de 2 m. 10. Le poids total à soulever peut varier, suivant les cas, de 975 à 1.054 et 1.162 tonnes ; les pressions correspondantes dans les presses sont de 30,0, 32,4 et 35,8 atmosphères.

En ce qui concerne les différences avec l'ascenseur des Fontinettes, particulièrement dignes d'être notées, nous parlerons plus loin de la construction des corps des presses ; ici, nous nous bornerons à dire quelques mots de la formation du joint étanche entre les extrémités des sas mobiles et des biefs.

Le système de jonction adopté à la Louvière consiste en un segment de pont-canal, de longueur très réduite, dont la face du côté du bief est verticale et s'applique exactement contre les tôles de la partie fixe de l'ascenseur, tandis que la face du

1. M. H. Genard, ingénieur en chef directeur, et M. G. Denil, ingénieur des Ponts et Chaussées en Belgique, ont présenté au Congrès international de navigation tenu à Düsseldorf en 1902, en réponse à la première question, *Moyens de racheter les grandes differences de niveau*, un très intéressant rapport sur les ascenseurs du canal du Centre belge.

Digitized by Google

côté du sas est inclinée à 1/10. L'extrémité du sas est taillée suivant la même inclinaison. Cet appareil de jonction qui porte le nom de *coin* est inséré entre le sas et le bief auquel il est attaché et établit la continuité de l'un à l'autre. L'étanchéité de la jonction est assurée par des bourrelets en caoutchouc fixés sur chacune des faces du coin.

Le serrage du coin entre le sas mobile et le bief fixe s'obtient simplement par le mouvement du sas, sans aucune manœuvre ni dépense de force spéciale. La position des coins peut varier en hauteur ; elle est réglée chaque matin en tenant compte du niveau de l'eau dans les biefs et de la température de manière que chaque sas arrêté dans une position telle qu'il prenne ou abandonne la surcharge d'eau convenable, opère un serrage du coin suffisant pour obtenir une parfaite étanchéité de la jonction.

L'ascenseur de la Louvière a été construit par les ingénieurs des Ponts et Chaussées de Belgique avec l'assistance de M. Edwin Clark ; la confection de la partie métallique a été confiée à la société John Cockerill, à Seraing ; la dépense totale s'est élevée à 1.500.000 francs en nombre rond.

78. Mode d'exécution des cylindres des presses. — Les cylindres des presses constituent l'organe délicat, le point dangereux de l'appareil ; c'est d'eux que dépendent l'équilibre et la stabilité de tout le système et d'autre part ils doivent avoir des dimensions inusitées et résister à des pressions considérables. Dans ces conditions, on ne s'étonnera pas que leur mode d'exécution ait fait l'objet d'études minutieuses tant en France qu'en Belgique, d'autant plus que dans l'un et l'autre pays le problème se posait au lendemain et sous l'impression de l'accident d'Anderton, où la virole supérieure du cylindre d'une des presses avait éclaté sous une charge de 240 tonnes seulement et produit la chute du sas.

En France, il avait été question, à l'origine, d'exécuter les cylindres des presses des Fontinettes en fonte, en leur don-

Digitized by Google

nant 0 m. 12 puis plus tard 0 m. 14 d'épaisseur ; mais l'emploi de la fonte sous de pareilles épaisseurs inspira la méfiance. On eut l'idée de recourir à l'acier fondu et des essais furent opérés sur des viroles de ce métal exécutées dans les usines de Terre-Noire. Les résultats ne répondirent nullement à l'attente ; la résistance à la traction, au lieu d'atteindre, comme on l'avait pensé, 50 kilogrammes par millimètre carré, ne dépassa pas 15 à 16 kilogrammes. On essaya sans plus de succès l'emploi de tôles soudées, en fer et en acier, et celui de tôles en acier rivées ; finalement, et à la suite de tâtonnements successifs, on s'arrêta à la solution suivante.

Les presses sont composées d'anneaux en acier laminé sans soudure, fabriqués comme les bandages de roues de locomotives, de 0 m. 155 de hauteur et de 0 m. 06 d'épaisseur. Ces anneaux sont empilés les uns sur les autres et emboîtés à mi-épaisseur sur 0 m. 005 de hauteur (fig. 23, page 200). Une chemise continue en cuivre, de 0 m. 003 d'épaisseur, appliquée à l'intérieur, assure l'étanchéité. La rigidité de chaque cylindre ainsi constitué est obtenue à l'aide de cornières verticales, reliées en bas à un poutrellage hexagonal établi sous la presse, en haut à une collerette entourant le cylindre. Le fond de la presse est constitué par une plaque de blindage de 2 m. 25 de côté et de 0 m. 55 d'épaisseur.

Une virole d'essai de 1 m. 70 de hauteur a résisté à 175 atmosphères *sans donner lieu à aucune déformation*. La pression intérieure dans les presses des Fontinettes ne dépassant pas 26,5 atmosphères, on est donc assuré d'un coefficient de sécurité au moins égal à 7.

En Belgique, malgré l'accident d'Anderton, on n'a pas renoncé à l'emploi de la fonte, mais cet emploi est combiné avec des précautions toutes particulières. Les presses de l'ascenseur de la Louvière sont constituées chacune par huit anneaux cylindriques de 2 m. 06 de diamètre intérieur. Ces anneaux sont composés d'un corps cylindrique intérieur en fonte de 0 m. 10 d'épaisseur, fretté au moyen de cercles join-

Digitized by Google

tifs en acier laminé, de 0 m. 05 d'épaisseur, posés à chaud.

Les frettes extrêmes de chaque virole sont laminées en forme de cornières et leurs branches annulaires constituent les collets de la virole. Les viroles sont boulonnées entre elles, collet à collet, avec interposition d'une plaque de plomb

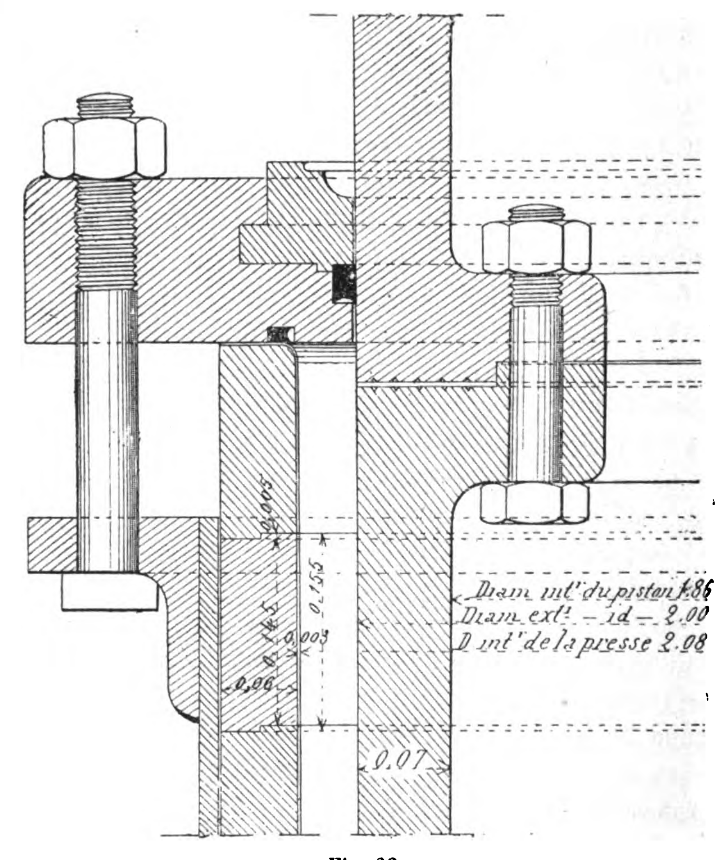


Fig. 23.

entre les joints. La colonne verticale ainsi formée présente une rigidité parfaite. La base de la presse est constituée par un simple plateau en fonte de 0 m. 15 d'épaisseur.

Aux essais, une virole frettée comme il a été dit ci-dessus ne s'est rompue que sous une pression de 265 atmosphères ;

Digitized by Google

encore la rupture s'est-elle produite sans projection de métal ni d'eau, ce qui laisse à penser qu'un accident de cette nature n'aurait aucune suite fâcheuse. Dans tous les cas, les cylindres des presses de l'ascenseur de la Louvière présentent un coefficient de sécurité considérable ; elles peuvent résister à des efforts huit fois plus grands que ceux auxquels elles sont habituellement soumises.

En définitive, les deux modes de construction employés ont fait leurs preuves et paraissent de nature à donner toute sécurité. Toutefois, si on considère que le corps cylindrique en fonte de 0 m. 10 d'épaisseur des presses belges n'a guère d'autre rôle que de former enveloppe étanche et qu'aux Fontinettes on a obtenu le même résultat avec une feuille de cuivre épaisse de quelques millimètres, on est en droit de se demander si cette dernière disposition n'est pas la plus rationnelle.

Au nombre des causes de l'accident survenu à l'ascenseur d'Anderton, on a mentionné l'affaiblissement produit dans la virole supérieure des cylindres des presses par la tubulure de raccordement avec le tuyau de communication entre les dites presses. Cependant ces tubulures n'avaient que 0 m. 127 de diamètre ; aux Fontinettes cette dimension aurait été portée à 0 m. 25 ; les inconvénients auraient été, le cas échéant, bien plus graves encore. On a tourné la difficulté en faisant déboucher le tuyau de communication dans le plateau formant le fond de chaque cylindre. Eu égard au genre d'efforts que supportent ces plateaux, il n'y a pas à craindre de les affaiblir.

A la Louvière, l'arrivée de l'eau sous pression se fait à la partie supérieure de chaque cylindre, au moyen d'un dispositif spécial, d'un *distributeur* dont le but est de ne pas affaiblir le cylindre pour livrer passage à l'eau. Ce distributeur se compose essentiellement d'un tore qui entoure la presse et d'un anneau cylindrique venu de fonte avec le tore, de même diamètre intérieur que le cylindre de la presse et intercalé entre deux des viroles constituant ce cylindre. L'anneau

Digitized by Google

cylindrique est percé sur tout son pourtour d'une série d'ouvertures de 0 m. 050 sur 0 m. 050 qui font communiquer l'intérieur du tore avec l'intérieur du cylindre (fig. 24). C'est

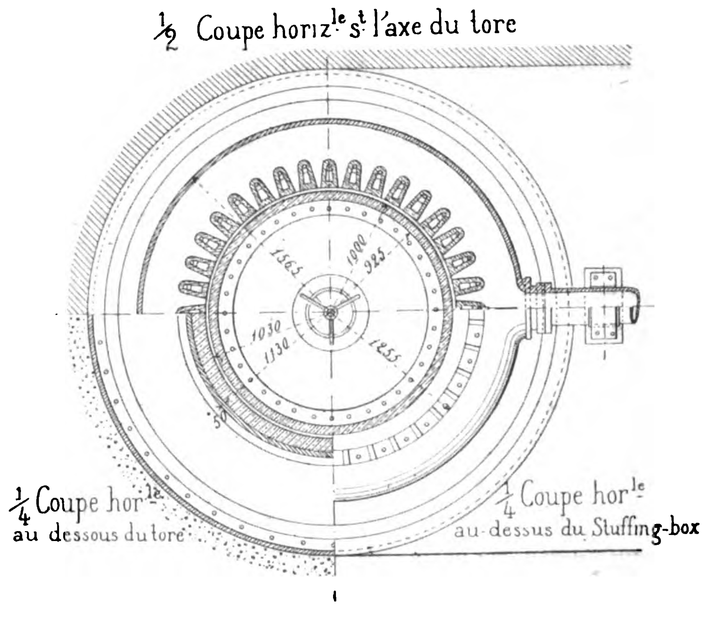


Fig. 24.

entre les tores des distributeurs des deux presses que la communication est établie, au moyen d'un tuyau rectiligne de 0 m. 25 de diamètre.

Le distributeur forme, en réalité, bien que sur une faible hauteur, une des viroles constitutives du cylindre ; il présente une résistance au moins égale à celle des autres viroles et donne ainsi toute sécurité.

79. Extension éventuelle du système. Dispositions nouvelles. — On voit que la construction des presses a été une des plus sérieuses difficultés que l'on ait rencontrées lorsqu'on a voulu appliquer à des bateaux de 300 et 360 tonnes de jauge le type d'ascenseur hydraulique employé d'abord

Digitized by Google

pour des bateaux de 80 à 100 tonnes au plus. N'y a-t-il pas là un obstacle insurmontable à la construction d'ascenseurs hydrauliques pour des bateaux de plus fort tonnage encore, de 600 tonnes et plus, par exemple ? Il serait assurément téméraire de se prononcer ; toutefois nous devons mentionner l'opinion exprimée par les ingénieurs du canal du Centre belge dont l'expérience en la matière n'est pas contestable. Selon eux, rien n'empêcherait de porter le diamètre du piston à 2 m. 60 et la pression dans la presse à 50 atmosphères. Dans ces conditions, un plongeur unique pourrait porter une charge de 2.700 tonnes environ, c'est-à-dire un sas capable de contenir à flot un bateau de 600 à 800 tonnes de chargement.

D'autres ingénieurs ont pensé que la solution du problème était dans l'emploi de plusieurs presses pour soutenir un même sas ; c'est ainsi que deux projets conçus dans cet ordre d'idées ont été présentés au concours de 1881. Mais il semble bien que dans l'application l'emploi de presses multiples se heurterait à de très grandes difficultés, notamment à celle d'obtenir entre elles une marche absolument concordante. Dans tous les cas, l'essai est encore à faire.

Une autre disposition qui mérite aussi d'être mentionnée a encore été proposée au concours de 1881 [1]. D'ordinaire, les ascenseurs présentent pour franchir une même chute deux sas conjugués. Dans la disposition en question, chaque chute serait franchie au moyen d'un sas unique, mais les sas de deux chutes voisines seraient conjugués, se feraient équilibre. Là encore, la sanction de l'expérience fait défaut.

1. A ce concours, sept projets d'ascenseurs hydrauliques avaient été présentés : deux par M. Barret et l'usine du Creusot ; deux par la compagnie de Fives-Lille ; trois par MM. Clark, Standfield et Clark et l'usine Cail. C'est un des projets de la compagnie de Fives-Lille qui a eu le second prix.

Digitized by Google

§ 3

ASCENSEURS SUR FLOTTEURS

80. Ascenseur d'Henrichenbourg. — Sans parler de tentatives plus anciennes mentionnées dans la notice de M. Hirsch, nous nous contenterons de rappeler ici qu'il y a plus de vingt ans, au concours de 1881, un projet d'ascenseur sur flotteurs avait été présenté par M. Seyrig, mais c'est seulement depuis quelques années que le système a reçu la sanction de la pratique.

Depuis 1899, un magnifique ouvrage de ce genre fonctionne en Allemagne, sur le canal de Dortmund à l'Ems, à Henrichenbourg [1], point où l'embranchement qui dessert la ville de Dortmund tombe dans le grand bief, long de plus de 67 kilomètres, de Herne à Münster. La différence entre les niveaux de l'eau dans les deux biefs est normalement de 14 m.; elle peut atteindre au maximum 16 mètres.

L'ascenseur consiste essentiellement en un sas en tôle, reposant sur des flotteurs qui peuvent se mouvoir dans des puits pleins d'eau où ils sont entièrement immergés, susceptible, par là même, d'être amené alternativement en regard du bief inférieur et du bief supérieur.

La planche LII donne, de l'ascenseur de Henrichenbourg, un dessin schématique qui en fait comprendre le fonctionnement. Certaines indications ont pu être consignées par écrit

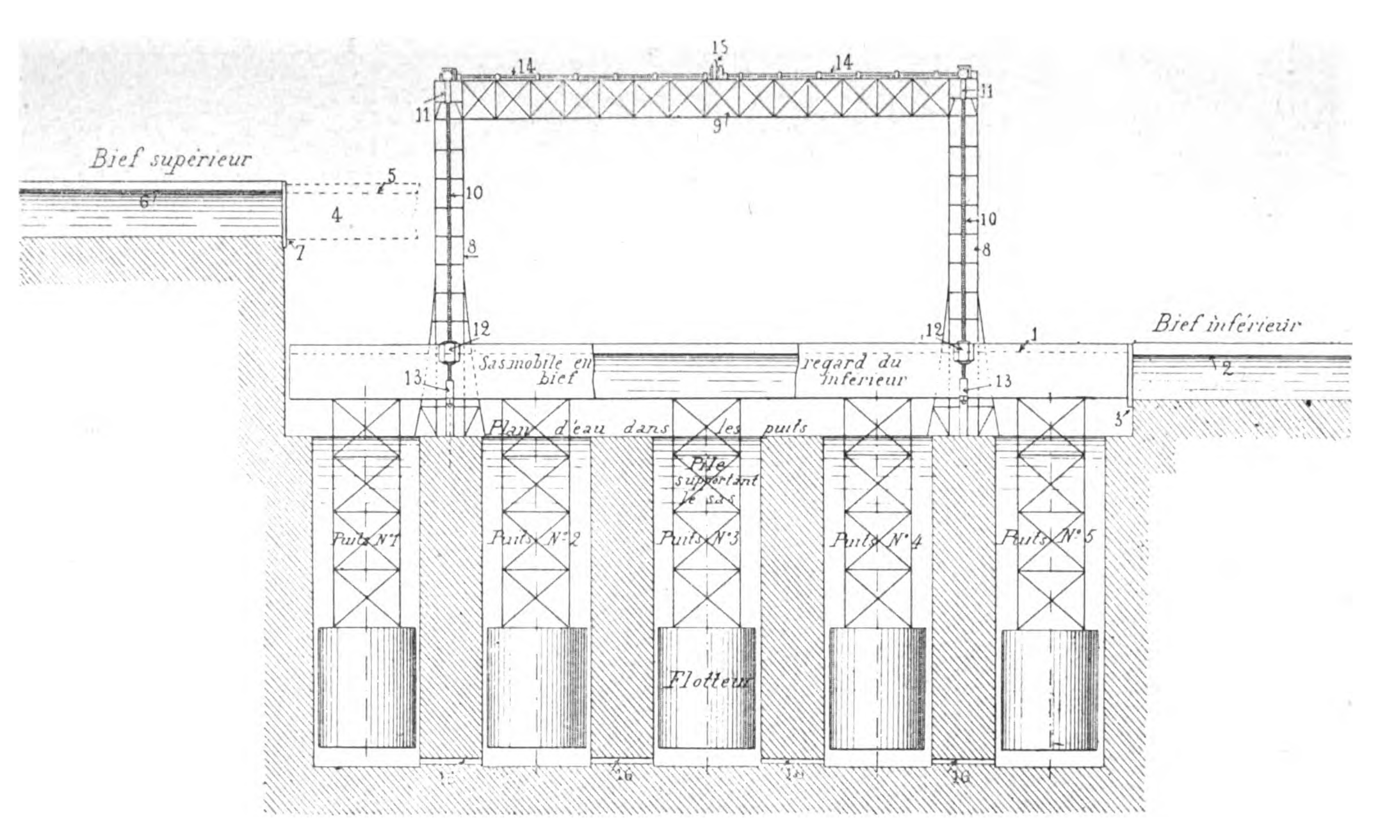
1. Au sujet de cet ouvrage, on peut consulter :

1° Le *Génie civil*, 1899, 2e semestre, tome XXXV, page 369;

2° La publication de circonstance intitulée : *Festschrift zur Eræffnung des Dortmund-Ems-Kanals*, 1899 ;

3° Les documents publiés à l'occasion du IXe Congrès international de navigation tenu à Dusseldorf en 1902, notamment le *Sonderführer für den Ausflug nach Dortmund und Henrichenburg*.

Digitized by Google



Pl. LII. ASCENSEUR D'HENRICHENBOURG. — DESSIN SCHÉMATIQUE

Digitized by Google

sur le dessin même; pour les autres, on s'est contenté de mettre des numéros de renvoi à la légende ci-après:

1. Plan d'eau dans le sas à son arrivée en regard du bief inférieur ;
2. Plan d'eau dans le bief inférieur;
3. Coin d'étanchement entre le sas et le bief ;
4. Extrémité du sas arrivé en haut de sa course, en regard du bief supérieur;
5. Plan d'eau dans le sas à son arrivée en regard du bief supérieur ;
6. Plan d'eau dans le bief supérieur ;
7. Coin d'étanchement entre le sas et le bief;
8. Pylône de guidage ;
9. Ponts de service reliant les quatre pylônes de guidage et portant les appareils de mise en mouvement des tiges filetées ;
10. Tige filetée ;
11. Support supérieur de la tige filetée ;
12. Ecrou ;
13. Support inférieur de la tige filetée ;
14. Arbre de transmission de mouvement aux quatre tiges filetées ;
15. Machine commandant les tiges filetées ;
16. Tuyau de communication entre deux puits.

Le sas, qui peut recevoir des bateaux de 600 tonnes de jauge, mesure 68 mètres de longueur utile et 8 m. 60 de largeur libre ; la profondeur d'eau est normalement de 2 m. 50. Il est suspendu entre les deux poutres de rive d'un véritable pont tubulaire à treillis qui repose sur les flotteurs par l'intermédiaire de piles métalliques. Les poutres de rive en question, longues de 70 mètres environ et hautes de 9 m. 65, sont espacées de 11 mètres d'axe en axe.

Les flotteurs, au nombre de cinq, ont 8 m. 30 de diamètre extérieur et 13 mètres de hauteur totale, dont 10 m. 275 pour la partie médiane cylindrique et 2 m. 725 pour deux calottes

Digitized by Google

sphériques terminales. Les puits, dans lesquels ils se meuvent, ont 9 m. 20 de diamètre intérieur ; ils sont espacés de 14 m. 80 d'axe en axe ; le fond de ces puits est, en nombre rond, à 30 mètres au-dessous du fond du sas parvenu au bas de sa course.

Chaque flotteur est surmonté d'un tuyau cylindrique vertical dont la partie supérieure dépasse le niveau de l'eau dans le puits, même dans les circonstances les plus défavorables, et par lequel, au moyen d'une échelle verticale, on peut accéder à tous les points de l'intérieur. Toutes les précautions sont prises pour maintenir ce dernier constamment à sec ; l'éclairage électrique est assuré en cas de recherches ou de réparations.

Le poids total du système en mouvement est, en nombre rond, de 3.100 tonnes, dont 600 pour les flotteurs, 900 pour le sas, les charpentes qui le supportent et tous ses accessoires, et 1.600 tonnes d'eau.

Le volume d'eau déplacé est de 620 mètres cubes pour chacun des flotteurs, soit de 3.100 pour l'ensemble ; il correspond exactement au poids total indiqué ci-dessus. Cependant les piles métalliques qui supportent le sas perdent une partie de leur poids au fur et à mesure qu'elles s'enfoncent dans l'eau, à la descente ; pour contrebalancer cette perte de poids, le sas, quand il descend, reçoit une surcharge d'eau de 0 m. 02.

Le sas se meut entre quatre pylônes métalliques, deux de chaque côté, élevés respectivement entre le premier et le deuxième puits et entre le quatrième et le cinquième. Ces pylônes, qui sont réunis à leur partie supérieure par des ponts de service métalliques, servent au guidage du sas ; ils portent aussi le mécanisme qui produit son mouvement et assure le parallélisme de ses positions successives. Ce mécanisme consiste en quatre tiges filetées verticales actionnant chacune un écrou fixé aux poutres entre lesquelles le sas est suspendu et commandées par un même moteur électrique, qui leur donne une marche absolument concordante.

Digitized by Google

Ces tiges filetées, qui constituent assurément un des organes les plus originaux du système, sont en acier Siemens-Martin ; elles n'ont pas moins de 24 m. 60 de longueur. Leur diamètre est de 0 m. 280 à l'extérieur et de 0 m. 245 sur le noyau. Le filet de la vis est rectangulaire, de 0 m. 11112 de hauteur. En vue de vérifier la qualité du métal, elles ont été forées de bout en bout suivant un diamètre de 0 m. 100.

Pour former joint étanche à la jonction des extrémités du sas mobile et des têtes des biefs, on se sert d'un coin mobile analogue à celui que nous avons décrit en parlant de l'ascenseur de la Louvière (pages 197 et 198).

Les extrémités du sas mobile et les têtes des biefs sont munies de portes levantes. Les deux portes correspondantes sont accrochées l'une à l'autre pour la manœuvre et se lèvent ou s'abaissent simultanément dans le système employé aux Fontinettes (page 192).

C'est la maison de construction Haniel et Lueg, de Düsseldorf, qui a construit ce bel ouvrage ; la dépense s'est élevée à 3.250.000 francs, malgré la nature éminemment favorable du terrain dans lequel les puits des flotteurs ont été creusés.

Les frais annuels d'entretien et d'exploitation atteignent 93.750 francs, non compris le traitement du personnel. Cette dépense considérable ne constitue d'ailleurs pas le seul reproche que l'on puisse faire à l'ascenseur d'Henrichenbourg. La place nous manque pour entrer ici dans le détail et, sur ce point, nous nous contenterons de renvoyer le lecteur au rapport sur le canal de Dortmund à l'Ems publié dans les *Annales des Ponts et Chaussées* de 1904 par MM. les ingénieurs en chef La Rivière et Bourguin ; mais la meilleure preuve qu'on n'est pas absolument satisfait du fonctionnement de cet ouvrage, c'est que l'administration allemande se prépare à exécuter, à Henrichenbourg, sur une dérivation du canal latérale à l'ascenseur, une échelle d'écluses superposées. On est autorisé à penser que si de nouveaux ascenseurs flottants étaient construits à l'avenir, ils différeraient considérablement de celui que nous venons de décrire.

Digitized by Google

§ 4

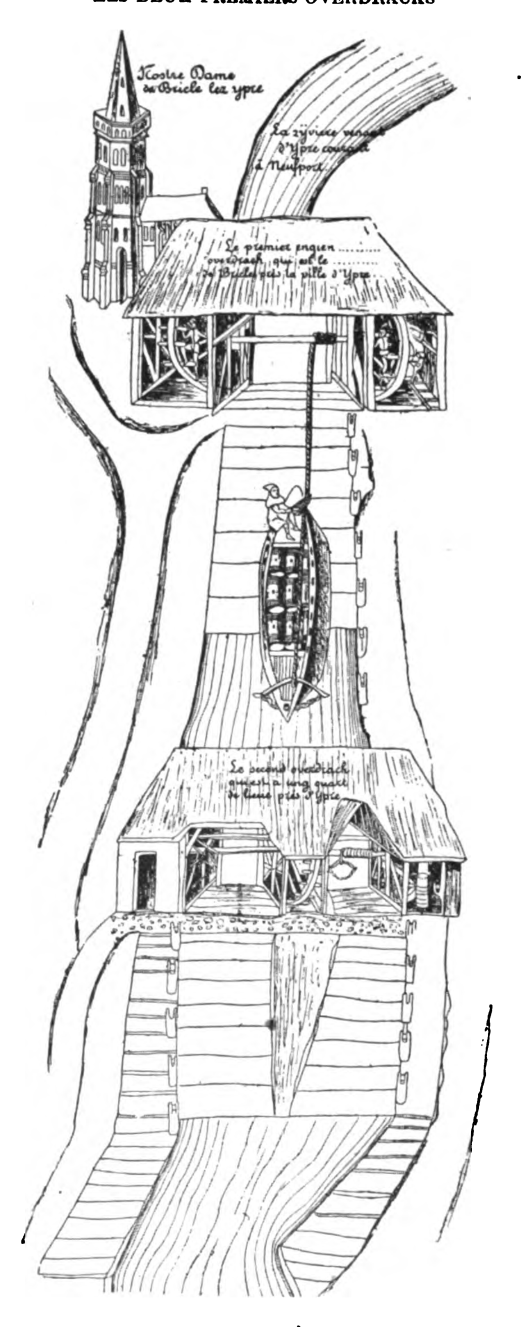
PLANS INCLINÉS POUR LE TRANSPORT DES BATEAUX A SEC

81. Anciens ouvrages. — Le transport des bateaux à sec sur des plans inclinés, pour passer d'une portion de voie navigable à une autre de niveau différent, pour passer d'un bief à un autre, paraît remonter à une époque extrêmement ancienne. On trouvera d'intéressants détails à ce sujet dans la partie historique de la notice de M. Hirsch. Nous nous contenterons de mentionner ici les *overdracks* qui fonctionnaient en Flandre dès le moyen âge. Nous en avons déjà dit quelques mots dans un autre volume [1] ; il nous a paru qu'il ne serait pas sans intérêt de donner ici le fac-simile d'un dessin fort ancien et des plus curieux qui représente des overdracks construits jadis sur la rivière d'Ypres à Nieuport (pl. LIII et LIV, pages 210 et 211). L'examen du dessin suffit pour faire comprendre le fonctionnement de l'appareil. Il montre aussi comment on avait recours à des moyens variés (roues à chevilles, manèges à chevaux) pour se procurer la force motrice nécessaire ; quelquefois la chute d'un moulin était, paraît-il, employée [2]. On trouve trace du fonctionnement de ces appareils en Belgique jusque dans le cours du XIXe siècle [3] ; quelques-uns existeraient même encore aujourd'hui en Hollande. Dans tous les cas, ces ouvrages ne servaient qu'à des bateaux de très petit tonnage, à de véritables barques.

1. *Rivières à courant libre* ; introduction, page 3.
2. Note de M. l'ingénieur des Ponts et Chaussées Deschamps de Pas intitulée : *Ce que c'était qu'un Overdrack*.
3. En 1870, on voyait encore à Loo (Flandre occidentale) les maçonneries d'un overdrack appelé aussi *Slek*, qui n'avait été démoli qu'en 1826.

14

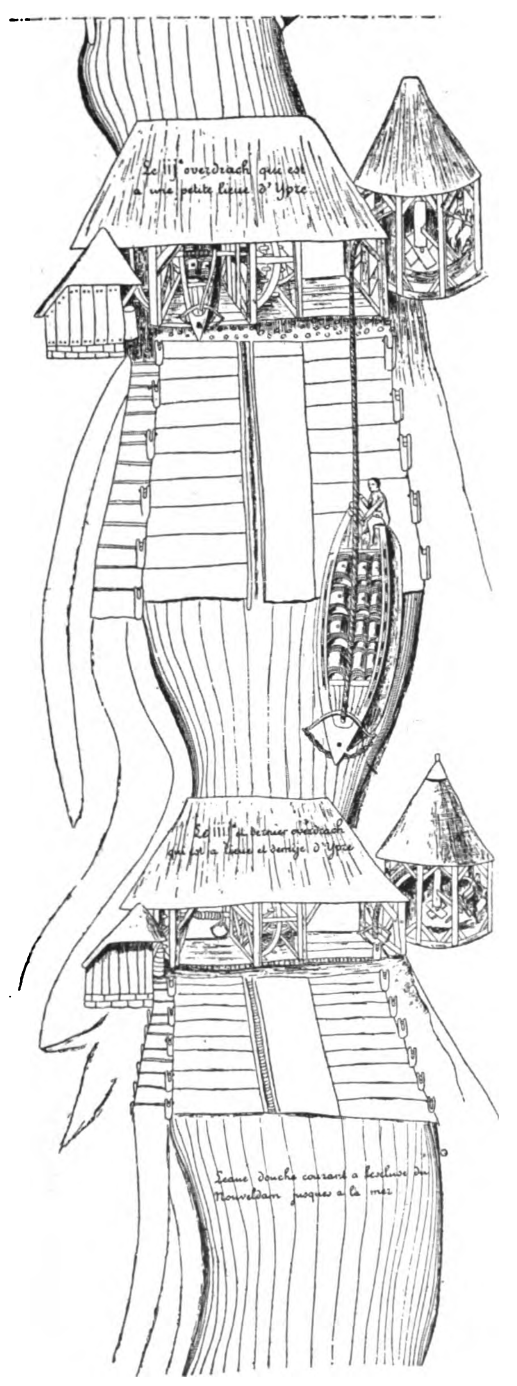
Digitized by Google



Pl. LIII. OVERDRACKS DE LA RIVIÈRE D'YPRES A NIEUPORT

Digitized by Google

LES DEUX DERNIERS OVERDRACKS



Pl. LIV. OVERDRACKS DE LA RIVIÈRE D'YPRES A NIEUPORT

Digitized by Google

82. Summit planes. — Au cours du XIXe siècle, des plans inclinés ont été établis pour des bateaux de plus grandes dimensions en divers pays, en Amérique notamment, avec une disposition caractéristique qui leur a valu la dénomination de *summit planes* (plans inclinés à sommet). Un ouvrage de ce genre comprend, en réalité, deux plans inclinés, en sens contraire, ayant leur pied l'un dans le bief d'aval et l'autre dans le bief d'amont, l'intersection des deux, le sommet, dépassant quelque peu le niveau de ce dernier bief. Les bateaux sont transportés à sec, échoués sur la plate-forme d'un chariot qui plonge alternativement dans l'un et l'autre bief, y prenant ou y laissant son fardeau.

Le chariot circule sur une voie ferrée et est actionné par un système funiculaire. Quand il y a double voie, les deux chariots, l'un montant, l'autre descendant, sont réunis par un câble sans fin de manière qu'ils se fassent contrepoids l'un à l'autre. Le moteur n'a à vaincre que les différences de poids qui peuvent se produire dans les chargements, et les résistances passives.

Nous citerons trois spécimens de ce genre d'ouvrages.

Aux Etats-Unis, le canal Morris a été établi avec 23 plans inclinés, à double voie. Il a été terminé en 1835; mais, depuis, les plans inclinés ont subi diverses modifications. Leur course verticale varie de 10 m. 68 à 30 m. 50, leur déclivité de 1/10 à 1/12; les bateaux transportés, longs de 24 mètres et larges de 3 m. 20, jaugent 70 tonnes; le poids total en mouvement, y compris le chariot et la coque du bateau, est de 110 tonnes; il porte sur huit essieux.

Les plans inclinés du canal de l'Oberland prussien, ouvert en octobre 1860, sont au nombre de cinq, à double voie. Leur course verticale varie de 18 m. 83 à 24 m. 48, leur déclivité est réglée à 1/12 au moins dans leur partie moyenne; les bateaux transportés jaugent 70 tonnes; le poids total en mouvement, y compris le chariot et la coque du bateau, est de 105 tonnes; il porte sur quatre essieux.

Digitized by Google

En France, un plan incliné a été établi vers 1888 pour mettre en communication le canal de l'Ourcq et la Marne. Il est à simple voie et rachète une différence de niveau qui est normalement de 12 m. 17 ; la déclivité est de 1/25 sur un versant et de 1/16 sur l'autre ; les bateaux transportés, longs de 28 mètres et larges de 3 m. 10, jaugent 70 tonnes au maximum ; le poids total en mouvement, y compris le chariot et la coque, est de 110 tonnes ; il se répartit sur quatre essieux.

On voit qu'en ce qui concerne le tonnage des bateaux transportés et le poids total en mouvement, ces trois ouvrages sont établis dans des conditions presque identiques. Les plans inclinés du canal Morris et du canal de l'Oberland prussien sont décrits en détail dans de nombreux ouvrages et en particulier dans la notice de M. Hirsch. Le plan incliné du canal de l'Ourcq, bien que tout près de nous, est beaucoup moins connu ; nous sommes certain qu'il fonctionne encore ; nous nous y arrêterons un moment.

83. Plan incliné du canal de l'Ourcq. — A Beauval, près de Meaux, au droit du barrage des Basses-Fermes établi sur la Marne, le canal de l'Ourcq ne se trouve guère qu'à 450 mètres de la rivière. Une partie de la force motrice résultant de la chute du barrage a été concédée à un industriel de Meaux, M. Fournier, qui s'en sert pour opérer le transbordement des bateaux entre les deux voies navigables [1].

Les bateaux transbordés sont exclusivement ceux qui fréquentent le canal de l'Ourcq et dont nous avons donné plus haut les dimensions et le tonnage. On peut compter que leur poids total, poids mort et poids utile ensemble, ne dépasse pas sensiblement 75 tonnes.

L'installation de M. Fournier comprend deux plans inclinés formant prolongement l'un de l'autre, d'une longueur totale de 453 mètres. Le premier, du côté de la Marne, en rampe

1. *Mémoires de la Société des Ingénieurs civils* (mai 1892).

Digitized by Google

de 0 m. 04 par mètre, a son origine dans un bassin communiquant avec la rivière à l'amont du barrage ; le second, du côté du canal de l'Ourcq, en pente de 0 m. 06 par mètre, aboutit à un autre bassin constitué par un élargissement du canal en cet endroit (fig. 25 et pl. LV).

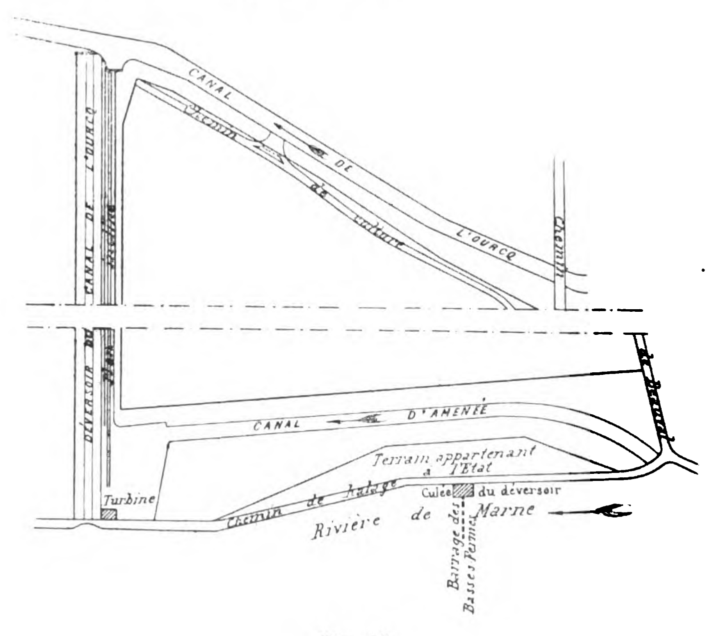
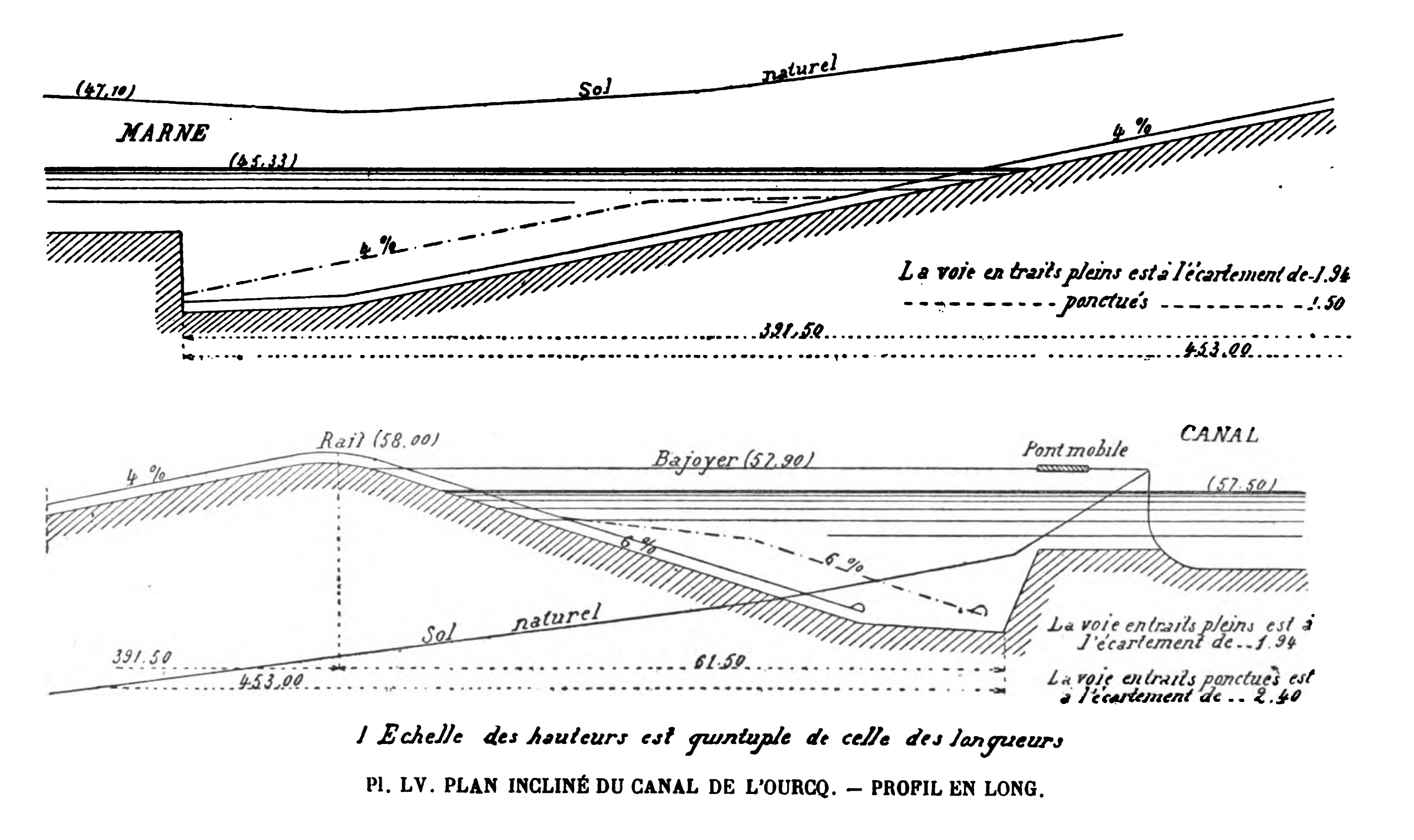


Fig. 25.

Le bassin inférieur est relié avec la rivière par une dérivation formant canal d'amenée, longue de 373 mètres, mesurant 11 m. 90 de largeur au plan d'eau, 7 mètres au plafond et 2 m. 20 de profondeur. L'eau prise à l'amont du barrage est rendue à l'aval après avoir passé par l'usine installée à l'angle aval du bassin parallèlement à la rivière ; elle actionne une turbine de 50 chevaux ; le bâtiment est construit pour en recevoir six.

Le plan d'eau du canal de l'Ourcq est à 12 m. 17 au-dessus du niveau normal de l'eau à l'amont du barrage et, par conséquent, dans le bassin inférieur. Les bateaux sont transbordés

Digitized by Google



l'Echelle des hauteurs est quintuple de celle des longueurs

Pl. LV. PLAN INCLINÉ DU CANAL DE L'OURCQ. — PROFIL EN LONG.

Digitized by Google

au moyen d'un chariot roulant sur une voie ferrée dont la direction est normale à la berge de la Marne et qui présente deux déclivités de sens contraire, comme il a été dit plus haut. L'intersection des deux forme un point haut, supérieur de 0 m. 50 au niveau de la tenue du canal, disposition qui a pour effet d'empêcher le déversement des eaux dans la rivière.

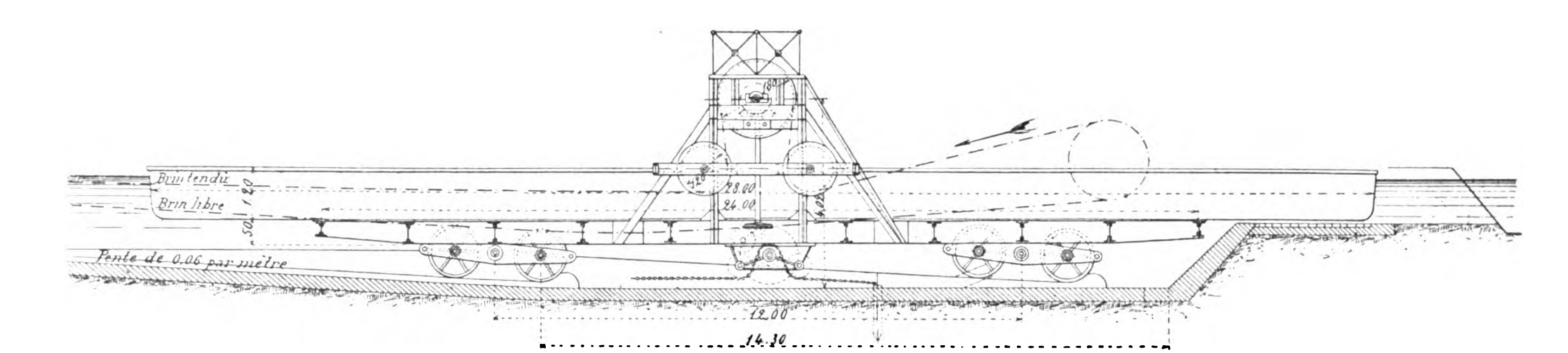
La voie ferrée, posée sur traverses, est large de 1 m. 94 ; elle est formée de rails d'acier, du type Vignole, mesurant 0 m. 13 de hauteur et autant de largeur de patin, pesant 42 kilogrammes le mètre courant. Dans l'axe de la voie se trouve une crémaillère posée sur les mêmes traverses.

Le chariot transbordeur, métallique, comporte essentiellement une plate-forme de 24 mètres de longueur et de 3 mètres de largeur d'axe en axe des longerons, portée par deux trucks à quatre roues chacun, distants de 12 mètres (pl. LVI). Le chariot porte une roue dentée engrenant avec la crémaillère mentionnée ci-dessus, roue dentée qui, au moyen d'un train d'engrenages, est actionnée par un câble télédynamique mis en mouvement par la turbine. Au lieu d'une roue dentée engrenant avec une crémaillère, la planche indique une poulie à empreintes sur laquelle passe une chaîne calibrée. Ce dispositif, imité du système de touage de M. Bouquié, a bien effectivement été appliqué à l'origine, mais il a dû être abandonné.

En voie courante, la plate-forme du chariot présente la même déclivité que la voie sur laquelle il circule, 0 m. 04 ou 0 m. 06 par mètre suivant le versant, et cela n'a aucun inconvénient pour le bateau échoué. Mais quand le chariot s'immerge dans les bassins pour prendre ou laisser un bateau, il est essentiel que la plate-forme soit horizontale et il faut qu'elle reste horizontale jusqu'à complète émersion ou complète immersion du dit bateau ; voici par quel ingénieux artifice on satisfait à cette condition.

La voie normale, avons-nous dit plus haut, mesure 1 m. 94 entre les axes des rails. Dans le bassin inférieur, elle est doublée d'une voie spéciale intérieure, large seulement de 1 m. 50

Digitized by Google



Pl. LVI. PLAN INCLINÉ DU CANAL DE L'OURCQ. — CHARIOT TRANSBORDEUR

Digitized by Google

et dans le bassin supérieur d'une voie spéciale extérieure, dont la largeur est portée à 2 m. 40. D'autre part, les roues des trucks qui portent la plate-forme sont à double cercle de roulement avec boudin médian. L'épaisseur de ces roues et la longueur des essieux sur lesquels elles sont calées sont d'ailleurs telles que les roues du truck arrière (AR) peuvent porter, suivant les circonstances, par leur cercle extérieur sur la voie normale et par leur cercle intérieur sur la voie spéciale de 1 m. 50, tandis que les roues du truck avant (AV) peuvent porter, ou par leur cercle intérieur sur la voie normale, ou par leur cercle extérieur sur la voie de 2 m. 40 (fig. 26). La

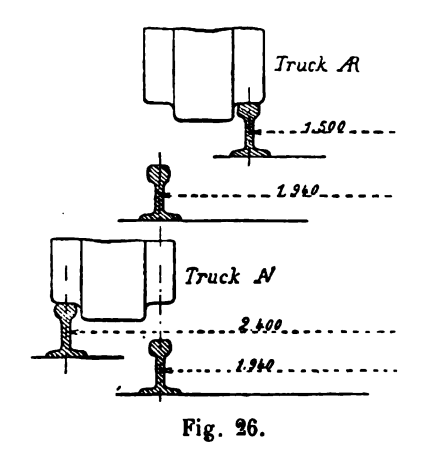


Fig. 26.

planche LV, sur laquelle la voie normale est figurée en traits pleins et les voies spéciales en traits interrompus, montre que ces dernières ont dans leur partie inférieure, respectivement, la même déclivité que la voie normale, tandis que dans leur partie supérieure elles présentent un palier ou un quasi-palier prolongé suffisamment pour que les roues du truck correspondant portent sans discontinuité ou sur la voie spéciale ou sur la voie normale.

Supposons le chariot immergé au fond du bassin inférieur : la plate-forme est horizontale, les roues du truck arrière portent sur la voie spéciale, celles du truck avant sur la voie

Digitized by Google

normale. Ces deux voies étant parallèles, lorsque le chariot se mettra en mouvement, la plate-forme s'élèvera parallèlement à elle-même et cela jusqu'à la complète émersion du bateau qu'on aura amené au-dessus d'elle. A partir de ce moment, les roues du truck avant continuent à rouler sur la voie normale inclinée tandis que celles du truck *R* roulent sur la voie spéciale, sensiblement horizontale; la plate-forme commence alors à s'incliner et, lorsque toutes les roues portent sur la voie normale, elle prend la même inclinaison que cette dernière.

Pour la descente dans le bassin supérieur, les choses se passeront d'une manière analogue, mais inverse.

Le poids du chariot est de 35 tonnes; celui du système complet à mettre en mouvement, bateau chargé compris, est de 110 tonnes. La vitesse de marche du chariot est de 0 m. 25 par seconde, ce qui correspond à une durée totale de trente minutes pour un parcours de 450 mètres; mais, en pratique, il faut compter 35 à 40 minutes, surtout à la montée. Comme il il n'y a pas d'autres manœuvres à faire, aux extrémités, que de pousser le bateau au-dessus ou au dehors du chariot, on conçoit qu'on puisse effectuer un voyage double en une heure un quart environ.

§ 5

PLANS INCLINÉS POUR LE TRANSPORT DES BATEAUX A FLOT

84. Plans inclinés avec transport longitudinal. — Dans ce système, ce n'est plus un simple chariot qui roule sur le plan incliné, mais un sas plein d'eau dont l'axe est dirigé suivant la ligne de plus grande pente du plan, muni à ses extrémités de deux portes qui le mettent en relation, soit avec le bief d'amont, soit avec le bief d'aval, avec lesquels il vient se raccorder alternativement. Pour que, dans son trajet

Digitized by Google

sur le plan incliné, le sas reste horizontal, la partie postérieure est surélevée par une charpente, à une hauteur suffisante pour racheter la pente.

L'écluse mobile ainsi constituée jouit d'une propriété intéressante que nous avons déjà signalée : un bateau qui y est admis en fait sortir un volume d'eau dont le poids est précisément égal à celui du dit bateau ; de sorte que, pour une hauteur d'eau donnée dans le sas, le poids total de l'écluse, de l'eau qu'elle contient et du bateau est constant, que le bateau soit lège ou chargé, qu'il soit grand ou petit, et ce poids est le même que lorsque le sas ne contient pas de bateau. Dès lors, il suffit d'une force constante pour faire équilibre à la composante de la gravité parallèle au plan incliné.

Cette force peut être obtenue au moyen d'un second sas pareil au premier, disposé exactement de la même manière, et à lui relié par l'intermédiaire d'un câble et d'une poulie de renvoi installée au sommet du plan. On a ainsi un plan incliné à double voie.

Cette force peut également être obtenue au moyen de deux chariots convenablement chargés, roulant sur deux voies de fer disposées de part et d'autre, parallèlement à la voie principale, et reliés au sas mobile auquel ils font contrepoids, par l'intermédiaire de câbles et de poulies comme il a été dit ci-dessus. C'est alors un plan incliné à simple voie.

C'est M. de Solages qui paraît avoir eu la première idée de cet ingénieux dispositif [1]. Application en a été faite : en Ecosse, sur le canal de Monkland, à Black-Hill, près de Glascow ; aux Etats-Unis, sur le canal de Chesapeacke et Ohio, pour établir une jonction entre le canal et la rivière Potomac, à Georgetown.

1. *Notice sur les élévateurs et plans inclinés pour canaux* par M. J. Hirsch, page 18.

Digitized by Google

85. Plan incliné de Black-Hill. — Le plan incliné de Black-Hill, construit en 1850, a été si souvent décrit[1] que nous nous bornerons ici à ce qui est strictement nécessaire pour faire comprendre son fonctionnement. Il doublait une descente d'écluses, au nombre de quatre, comprenant chacune deux groupes accolés de deux sas superposés. Comme elles, il rachetait une chute totale de 29 m. 28; il était à double voie; son inclinaison était de 1/10.

Les bateaux à transporter mesuraient 21 m. 35 de longueur, gouvernail compris, et 4 m. 12 de largeur. Leur tirant d'eau qui, à vide, variait de 0 m. 46 à 0 m. 55, s'élevait à 1 m. 37 au plein chargement de 60 tonnes. D'ailleurs, les bateaux vides, seuls, passaient par le plan incliné; les bateaux pleins se servaient toujours des écluses.

Les sas mobiles, construits en tôle et fers spéciaux, mesuraient 21 m. 34 de long, 4 m. 36 de large et 0 m. 84 de creux; la hauteur d'eau n'y dépassait pas d'habitude 0 m. 61. Chacun d'eux était porté par un solide chariot en fer forgé surhaussé vers l'aval, de manière à conserver son horizontalité, le tout reposait sur 10 paires de roues à boudin; les deux extrémités étaient munies de portes levantes.

Au bas de sa course le sas descendant s'immergeait dans le bief d'aval; il suffisait de lever la porte d'aval pour qu'un bateau pût entrer dans le sas ou en sortir, sans aucune déperdition d'eau. Parvenu au plus haut, le sas montant était fortement appuyé contre une fourrure, formant garniture étanche sur une tête d'écluse dont était muni le bief d'amont; la pression nécessaire était obtenue au moyen d'une presse hydraulique. En manœuvrant convenablement la porte d'amont du sas mobile et celle de la tête du canal on pouvait, à volonté, établir ou interrompre la communication entre les

1. Notamment dans les publications et ouvrages ci-après : *Annales des Ponts et Chaussées*; — *Notice sur les élévateurs et plans inclinés pour canaux* par M. J. Hirsch, page 39 et suivantes; — *Cours de Navigation intérieure* par M. l'inspecteur général Guillemain, tome II, page 253.

Digitized by Google

deux. On voit qu'à chaque passage de bateau la déperdition d'eau, presque insignifiante, se réduisait au cube renfermé dans l'espace compris entre la porte d'amont du sas et celle de la tête du canal.

En théorie, le bateau devait donc être transporté flottant librement dans l'eau du sas. Dans la pratique, les choses se passaient tout autrement. Une fois le bateau entré dans le sas immergé dans le bief d'aval, une fois la porte d'aval fermée et l'émersion commencée, on avait soin de faire écouler une partie de l'eau contenue dans le sas de telle sorte que le bateau portât légèrement sur le fond, ce qui diminuait le poids à traîner et empêchait le bateau de ballotter. *En réalité, le bateau était transporté échoué.*

Le poids total d'un sas, y compris son chariot, l'eau qu'il contenait et le bateau vide était de 70 à 80 tonnes. Le mouvement était déterminé par une machine à vapeur qui n'avait guère à vaincre que les résistances passives, les deux sas ascendant et descendant se faisant sensiblement équilibre.

La vitesse normale de marche sur le plan incliné était d'environ 0 m. 90 par seconde ; la durée d'une opération était de dix minutes en moyenne.

Du reste, le plan incliné de Black-Hill n'existe plus ; *il a été remplacé depuis plusieurs années par deux escaliers de huit écluses chaque* [1].

86. Plan incliné de Georgetown. — Nous serons encore plus sobre de détails sur cet ouvrage [2] qui, mis en service à la fin de 1876, est aujourd'hui en ruines et abandonné [3].

1. Renseignement dû à l'obligeance de M. L. F. Vernon-Harcourt.
2. Pour la description détaillée, voir : *Notice sur les élévateurs et plans inclinés pour canaux* par M. J. Hirsch, pages 43 et suivantes ; — *Cours de Navigation intérieure* par M. l'inspecteur général Guillemain, tome II, page 255.
3. Rapport de M. Hutton au Congrès international de navigation de 1900 (1re Section).

Digitized by Google

Destiné à établir une jonction entre le canal de Chesapeake et Ohio et le Potomac, le plan incliné de Georgetown rachetait une chute, de hauteur variable avec l'état des eaux en rivière, qui ne dépassait pas 11 m. 60 en eaux moyennes ; il donnait passage à des bateaux longs de 27 m. 40, larges de 4 m. 39, tirant 1 m. 52 au plein chargement de 110 à 115 tonnes.

C'était un plan incliné à simple voie ; le sas mobile, unique, roulait sur quatre files de rails parallèles inclinés à 1/12 ; il était équilibré par deux wagons contrepoids roulant sur des voies latérales, placées de chaque côté de la première, mais inclinées à 1/10.

Le sas, en tôle rivée et fers spéciaux, mesurait 34 m. 12 de long, 5 m. 10 de large et 2 m. 39 de creux ; il portait sur 36 roues. Son poids, lorsqu'il était plein d'eau, s'élevait à 390 tonnes ; les wagons contrepoids pesaient alors chacun 280 tonnes ; le poids total du système en mouvement atteignait donc 950 tonnes.

A la suite de divers accidents, on avait été amené, en vue de diminuer le poids des masses en mouvement, *à transporter les bateaux chargés à sec, échoués sur le fond du sas. Les bateaux vides seuls restaient à flot ; mais on ne laissait dans le sas qu'une hauteur d'eau de 0 m. 76 seulement*, indispensable pour faire équilibre aux wagons contrepoids.

87. Inconvénients du système. Nouvelles études. — Bien que les plans inclinés de Black-Hill et de Georgetown n'eussent à assurer le passage que de bateaux de très faible tonnage, on s'y est déjà heurté aux deux difficultés capitales inhérentes à l'essence même du système.

Lors du transport d'un sas plein d'eau, par suite des variations inévitables de la vitesse, il se produit des oscillations dans la masse fluide, des vagues susceptibles de surmonter les parois du sas, de jeter le bateau contre ses parois et d'occasionner de sérieuses avaries. Et s'il en est ainsi pour de

Digitized by Google

faibles variations de la vitesse, qu'adviendrait-il au moment où un accident, tel qu'une rupture de câble, viendrait à déterminer un arrêt brusque, si tant est qu'on pût avoir à sa disposition des freins assez puissants pour retenir les masses en mouvement?

D'autre part, il résulte de l'importance même des poids à mouvoir une extrême difficulté à les répartir également entre le grand nombre de roues nécessaires.

C'est pour échapper à ces difficultés qu'on s'était résigné : à Black-Hill à faire échouer les bateaux dans le sas ; à Georgetown à transporter à sec les bateaux chargés. Si sur ce dernier point on laissait flotter les bateaux vides, c'est qu'il fallait bien lester le sas avec de l'eau pour qu'il continue à faire équilibre aux wagons contrepoids. En somme le problème, tel qu'il avait été posé, n'a été résolu ni à Black-Hill, ni à Georgetown.

Si les difficultés signalées plus haut ont paru aussi redoutables, alors qu'il s'agissait seulement de bateaux jaugeant 110 à 115 tonnes au plus, dans quelle mesure ne s'accoîtraient-elles pas pour des bateaux de 300 tonnes comme ceux qui circulent sur nos canaux et pour des bateaux de 600 tonnes comme ceux en vue desquels sont projetés, en Autriche, les canaux du Danube à l'Oder et du Danube à la Moldau?

Des études nombreuses, quelques-unes fort intéressantes, ont été faites depuis la construction du plan incliné de Georgetown ; nous les passerons rapidement en revue sans avoir, bien entendu, la prétention de n'en omettre aucune.

Au concours ouvert en 1881 par le service du canal de la Marne à la Saône, les plans inclinés ont fait assez piètre figure avec trois projets dont un seul, présenté par M. Barret et l'usine du Creusot, a pu être retenu. Il n'est cependant pas sans intérêt de mentionner que, dans les deux projets écartés *a priori*, les sas étaient supportés, non plus par des roues, mais par des patins glissants dans le système imaginé par l'ingénieur hydraulicien Girard.

Digitized by Google

En 1884, un projet de plan incliné pour bateaux de 300 tonnes a été présenté par M. l'ingénieur des Ponts et Chaussées Peslin en vue de la construction du canal de la Meuse à l'Escaut. Pour assurer une meilleure répartition du poids total qui s'élevait à 700 tonnes, il proposait de sectionner le sas en cinq tronçons réunis par des soufflets en caoutchouc ou en lames d'acier. Plus tard, M. Peslin a présenté pour le canal du Danube à l'Oder un plan incliné pour bateaux de 700 tonnes ; le poids total du sas mobile atteignait 1.680 tonnes.

Mentionnons encore l'étude faite en 1886, par MM. Gonin et Huc-Mazelet, d'un plan incliné pour bateaux de 300 tonnes destiné au canal français du Centre.

Citons enfin les projets de plans inclinés pour bateaux de fort tonnage, avec sas en long glissant sur patins hydrauliques [1], présentés par la maison Haniel et Lueg de Düsseldorf à un concours ouvert, en 1895, par le Comité pour la construction du canal du Danube à la Moldau et à l'Elbe, en Autriche.

Quoi qu'il en soit, aucun de ces projets n'a été suivi d'exécution et rien n'autorise à dire que les difficultés signalées plus haut ne resteront pas insurmontables.

88. Plans inclinés avec transport transversal. — C'est M. l'inspecteur général des Ponts et Chaussées Flamant qui a eu le premier l'idée de disposer le sas mobile non plus suivant une ligne de plus grande pente, mais suivant une horizontale du plan incliné, de le mouvoir non plus en long mais en travers. En 1890 il présenta le projet d'une installation de ce genre pour bateaux de 300 tonnes appliquée à une hauteur de chute de 30 mètres.

Avec cette disposition, la construction du chariot qui porte le sas est bien simplifiée puisque l'on n'a plus à racheter la

1. Le lecteur pourra trouver quelques détails sur ces projets dans l'ouvrage de M. C. V. Suppan, intitulé *Wasserstrassen und Binnenschiffahrt* ; 1902, A. Troschel éditeur à Berlin.

Digitized by Google

pente du plan incliné que sur la largeur du sas au lieu de la longueur; cela permet d'aborder des déclivités beaucoup plus considérables ; M. Flamant proposait une pente de 1/5. D'un autre côté les oscillations de la masse fluide paraissent moins à redouter.

89. Plan incliné de Foxton. — Une application de ce système a été faite tout récemment en Angleterre. En 1900, sur le Junction-Canal, à Foxton, on a établi un plan incliné rachetant une chute de 22 m. 925 (75 pieds 2 pouces) pour remplacer un escalier de 10 écluses et jusqu'ici les résultats obtenus paraissent satisfaisants.

L'installation consiste en deux sas conjugués qui se font équilibre. Chaque sas mesure 24 m. 40 de long, 4 m. 575 de large et 1 m. 525 de creux ; il contient 1 m. 20 d'eau et peut recevoir deux bateaux de 33 tonnes ou un de 70. Il est muni à ses extrémités de portes levantes et repose sur un chariot pourvu de 8 paires de roues portant sur 4 doubles files de rails. L'inclinaison du plan incliné est de 1/4.

La figure 27 n'est qu'un croquis schématique des plus sommaires, mais elle suffit pour montrer les dispositions générales de l'ouvrage et pour faire comprendre comment chaque sas peut communiquer alternativement avec l'un et l'autre biefs ; c'est intentionnellement qu'il ne donne aucune indication sur le système funiculaire qui relie les deux sas, ni sur la machinerie qui assure leur mouvement.

En réalité il y a deux plans inclinés parallèles (un pour chaque sas), dont les voies sont respectivement désignées par les lettres V et V′, et qui se prolongent au-dessous du niveau de l'eau dans le bief inférieur. Au plus bas de sa course le sas descendant, S′ dans la figure, est immergé dans ce bief; l'eau est au même niveau à l'intérieur et à l'extérieur ; il suffit de lever la porte du côté du bief inférieur pour qu'un bateau puisse entrer ou sortir; point n'est besoin de placer de portes aux pertuis P et P′.

Digitized by Google

Quand le sas montant S est au plus haut de sa course, la porte qui le ferme du côté du bief supérieur se trouve exactement en regard d'une porte semblable dont est munie la tête correspondante T de ce bief. Pour former joint étanche entre le sas mobile et la tête fixe, le premier est fortement appliqué

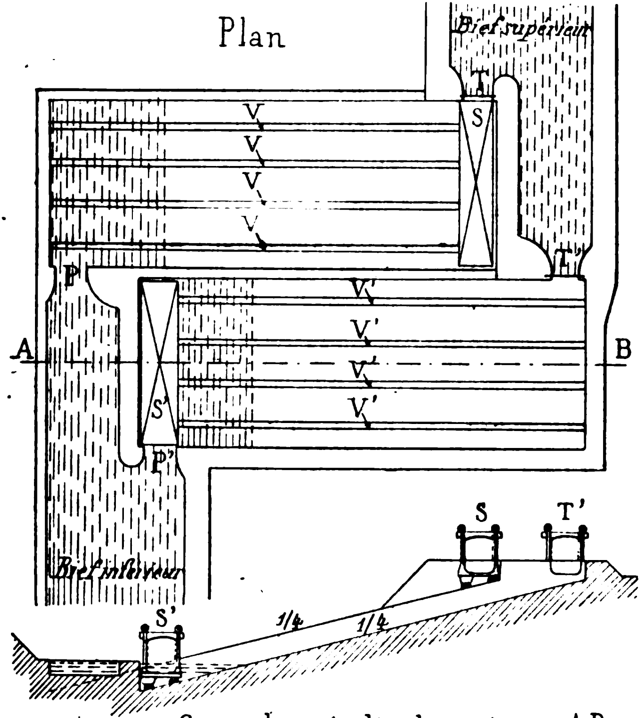


Fig. 27.

contre la seconde au moyen d'une presse hydraulique. Après avoir rempli d'eau l'espace nuisible compris entre les deux portes contiguës on les lève et alors un bateau peut passer librement du bief supérieur dans le sas ou inversement.

Nous n'entrerons pas dans de plus grands détails ; le lecteur désireux d'en avoir davantage pourra les trouver dans le rapport présenté au IXe Congrès international de navigation, à

Digitized by Google

Düsseldorf, par M. G. C. Thomas, ingénieur du canal de grande jonction, sous le titre : *Moyens de racheter les grandes différences de niveau*. C'est à ce rapport que nous avons emprunté ce qui précède et que nous empruntons encore les quelques chiffres ci-après.

Les installations nouvelles ont eu comme premier résultat une économie d'eau considérable (près de 90 0/0 de la quantité consommée par les écluses). En outre, 12 minutes suffisent maintenant pour le passage de deux grands ou de quatre petits bateaux (un ou deux dans chaque sens) si bien que dans une journée de 12 heures on pourrait faire passer 190 à 200 de ces derniers. Avec les écluses il fallait 1 h. 15 m. pour faire monter ou descendre un bateau et 1 h. 20 pour en faire passer deux dans l'un ou l'autre sens.

90. Nouvelles études. — Au concours dont nous avons déjà parlé plus haut (page 225), ouvert en 1895 par le Comité pour la construction du canal du Danube à la Moldau et à l'Elbe, en Autriche, l'Association des usines de construction de Bohême a présenté un projet de plan incliné pour bateaux de 600 tonnes. Ce projet comportait un sas unique transporté transversalement, avec l'aide de contrepoids, sur un plan incliné à 1/5 mesurant 500 mètres de longueur et 100 mètres de hauteur [1].

§ 6

CHEMINS DE FER POUR BATEAUX

91. Définition. Difficulté du problème. — Les enseignements de l'expérience en ce qui concerne les plans inclinés

1. Voir l'ouvrage déjà cité de M. C. V. Suppan, *Wasserstrassen und Binnenschiffahrt*.

Digitized by Google

pour le transport des bateaux à flot peuvent se résumer en peu de mots.

S'il s'agit de sas transportés en long, les résultats constatés jusqu'ici sont peu encourageants ; s'il s'agit de sas transportés en travers, les constatations faites ne sauraient encore être concluantes. Le plan incliné de Foxton ne fonctionne que depuis fort peu de temps et ne donne d'ailleurs passage qu'à de très petits bateaux.

Il n'est donc pas surprenant qu'on soit revenu à l'idée du transport à sec, surtout alors qu'on avait en vue des bateaux de fort tonnage et des parcours étendus, quand par exemple on envisageait des bateaux de 2.000 tonnes et un parcours de 27 kilomètres, comme dans le projet préparé pour la traversée de l'isthme de Chignecto qui sépare la Nouvelle Ecosse du Nouveau Brunswick, au Canada. Ces conceptions ont été présentées sous le nom de *chemins de fer pour bateaux*.

A vrai dire, les plans inclinés du canal Morris, du canal de l'Oberland prussien, du canal de l'Ourcq sont bien des chemins de fer pour bateaux, mais chacun d'eux n'a qu'un parcours très restreint, les bateaux transportés sont de très faible tonnage et tous d'un modèle uniforme. Aussi la réussite de ces entreprises n'a-t-elle rien de concluant.

En effet l'échouage qui peut n'avoir pas d'inconvénients pour des bateaux de petites dimensions devient au contraire très dangereux pour les grands bateaux, surtout quand ils sont chargés. D'autre part, si les bateaux à transporter sont tous du même modèle on peut construire le chariot transporteur de telle sorte qu'il en épouse les formes et leur fournisse un siège aussi favorable, nous dirions volontiers aussi confortable que possible. Mais pour une voie importante en connexion avec un réseau étendu, le problème se pose tout autrement ; il s'agit d'assurer, avec toutes garanties de sécurité, le transport à sec d'un bateau de formes quelconques dans les limites de tonnage admises. Il y a à cela d'énormes difficultés dont on a notamment cherché la solution, soit dans l'applica-

Digitized by Google

tion en chaque point de la coque d'une pression équivalente à celle qu'il supporterait si la coque flottait, soit dans l'adoption d'un système particulier de suspension.

99. Etudes et projets. — Les chemins de fer pour bateaux ont donné lieu à de nombreux projets depuis l'époque où l'éminent directeur de la société du touage de l'Elbe, Bellingrath, a publié ses études sur la construction et le mode d'exploitation d'un réseau de canaux en Allemagne [1]. A notre connaissance, un seul a donné lieu à un commencement d'exécution, celui auquel nous avons fait allusion plus haut, le chemin de fer pour bateaux de l'isthme de Chignecto.

Ainsi que nous l'avons déjà mentionné, il devait assurer le passage de navires de 2.000 tonnes de déplacement, avec un parcours de 27 kilomètres environ. Les travaux ont été commencés en octobre 1888, mais ils ont été interrompus à la fin de 1891, alors qu'ils étaient déjà fort avancés. La dépense faite s'élevait à 17.662.535 francs, et celle restant à faire n'était pas évaluée à plus de 7 800.000 francs. Cependant la compagnie concessionnaire s'est trouvée dans l'impossibilité de se procurer de nouvelles ressources financières et l'entreprise est restée inachevée [2].

Il n'est donc pas possible, à l'heure actuelle, de citer l'exemple d'un chemin de fer pour bateaux fonctionnant ; on conçoit dès lors que s'il était de notre devoir de signaler la question à nos lecteurs, nous n'avons pas à lui consacrer de longs développements ; nous ajouterons cependant encore quelques mots.

1. *Studien über Bau und Betriebsweise eines deutschen Kanalnetzes*, par Ewald Bellingrath ; 1879, Ernst et Korn éditeurs à Berlin.

2. On trouvera des détails intéressants sur cette entreprise dans l'ouvrage publié par MM. le baron Quinette de Rochemont, inspecteur général des Ponts et Chaussées, et H. Vétillart, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, sous le titre : *Les ports maritimes de l'Amérique du Nord sur l'Atlantique. — I. Les ports canadiens*, 1898, veuve Ch. Dunod éditeur à Paris.

Digitized by Google

Les grands canaux projetés en Autriche pour la jonction du Danube avec la Moldau et l'Elbe d'une part, avec l'Oder d'autre part, doivent être établis dans des régions où les différences de niveau à franchir sont considérables et où l'eau est rare ; il n'est pas surprenant qu'on ait pensé, dès l'abord, à y faire emploi de moyens mécaniques pour l'élévation des bateaux. C'est déjà en vue de leur construction qu'avaient été étudiés les plans inclinés de dimensions exceptionnelles dont nous avons mentionné plus haut les projets.

On s'est aussi demandé s'il n'y aurait pas là une application utile des chemins de fer pour bateaux. Dans son ouvrage déjà plusieurs fois cité [1], M. Suppan donne à ses idées personnelles sur ce sujet des développements importants, d'autant plus dignes d'attention que l'auteur, directeur de la section de navigation à la compagnie I. R. P. de navigation à vapeur sur le Danube, possède une expérience approfondie de tout ce qui concerne la navigation fluviale.

Enfin, tout récemment, l'affaire vient d'entrer dans une phase officielle. Au mois d'avril 1903, le ministère I. R. du Commerce d'Autriche a ouvert un concours international, pour l'élaboration complète et l'exécution à titre d'essai d'un projet d'installations mécaniques destinées à faire franchir aux bateaux une chute de 35 m. 90 qui se trouve sur le tracé projeté du canal du Danube à l'Oder, près de Prerau, en Moravie. Le dernier délai pour la remise des projets est fixé au 31 mars 1904.

1. *Wasserstrassen und Binnenschiffahrt*, 1902, A. Troschel éditeur à Berlin.

Digitized by Google

§ 7

COMPARAISON ENTRE LES DIVERS MODES D'ÉLÉVATION DES BATEAUX

93. Circonstances qui peuvent justifier l'établissement des ascenseurs et des plans inclinés. — Voici tout d'abord un tableau synoptique où sont groupés dans l'ordre des hauteurs de chute rachetées, les ascenseurs et les plans inclinés dont nous avons donné une description au moins sommaire :

Ascenseur	des Fontinettes	13 m. 13
—	d'Henrichenbourg	14 m. à 16 m. »
—	d'Anderton	15 m. 25
—	du canal du Centre belge (hauteur maximum)	16 m. 934
Plan incliné	de Georgetown	11 m. 60
—	du canal de l'Ourcq	12 m. 17
—	de Foxton	22 m. 925
—	du canal de l'Oberland prussien (hauteur maximum)	24 m. 43
—	de Black-Hill	29 m. 30
—	du canal Morris (hauteur maximum)	30 m. 50

On voit que les ascenseurs ont été appliqués jusqu'ici à des hauteurs de chute qui ne s'écartent pas sensiblement d'une moyenne de 15 mètres ; avec les plans inclinés on a abordé des hauteurs qui peuvent atteindre le double.

Dans tous les cas, l'obligation de racheter une forte chute sur un faible parcours a été la première cause déterminante de l'établissement de ces ouvrages ; le plus souvent, une seconde raison a été la nécessité de réduire autant que possible la consommation d'eau du canal. Et, effectivement, ce sont là des conditions exceptionnelles qui peuvent justifier le recours à l'emploi des moyens mécaniques pour l'élévation des bateaux.

Digitized by Google

Mais on a été plus loin. Certains ingénieurs se sont demandé si l'emploi de ces moyens n'allait pas amener une véritable révolution dans la construction des voies navigables artificielles, si l'écluse n'avait pas fait son temps et si, à l'avenir, les canaux ne se composeraient pas exclusivement de très longs biefs séparés par des ascenseurs ou des plans inclinés rachetant d'un seul coup des chutes également très importantes.

Assurément *quand les circonstances se prêtent* à une combinaison de ce genre, elle peut présenter de réels avantages. Les arrêts fréquents nécessités par le passage à de nombreuses écluses seront supprimés ; les moyens mécaniques de traction des bateaux pourront être employés dans de beaucoup meilleures conditions ; on aura réalisé en même temps économie de temps et économie d'eau.

Mais, à ce dernier point de vue notamment, si on s'imposait l'obligation d'avoir partout et toujours de longs biefs, on s'exposerait aux plus sérieux mécomptes. Nous verrons un peu plus loin que, dans la quantité d'eau nécessaire pour assurer l'alimentation d'un canal, la dépense pour les éclusées tient le plus souvent une place relativement petite. La grosse dépense est celle qui résulte des déperditions en voie courante et elle dépend surtout de la nature du sol.

Or en suivant indéfiniment à flanc de coteau une courbe de niveau qui s'élève nécessairement de plus en plus au-dessus du fond de la vallée, on risque de se jeter sur des pentes plus prononcées, dans des terrains beaucoup plus perméables que ceux que l'on rencontre au pied des coteaux et, par suite, de voir les déperditions s'accroître dans une proportion bien autrement importante que les économies réalisées sur les éclusées.

D'autre part, si le tracé se tient notablement au-dessus du fond de la vallée il s'éloigne généralement des territoires les plus riches et les mieux cultivés, des agglomérations importantes, des centres industriels et commerciaux ; il dessert moins

Digitized by Google

bien le trafic local. C'est donc un avantage sérieux dans bien des cas que de pouvoir obéir aux exigences du terrain et choisir à son gré l'assiette de la cuvette, en fractionnant la longueur des biefs et la hauteur des chutes.

94. Durée du trajet. Puissance de débit. — D'ailleurs, si nous revenons maintenant à la question de temps, il y a lieu de distinguer entre la durée du trajet d'un bateau sur un canal et la *puissance de débit* de ce canal. Cette dernière est nécessairement limitée par l'ouvrage qui a la moindre puissance de débit.

Prenons, pour bien fixer les idées, un exemple numérique ; supposons que 6 écluses, réparties sur une section de canal assez courte, puissent être remplacées par un ouvrage unique susceptible de faire passer un bateau en une 1/2 heure tandis que le passage du même bateau à chaque écluse demande 20 minutes, le parcours en voie courante restant le même. Un bateau en particulier gagnera 1 h. 1/2 sur la durée du trajet, mais la puissance de débit du canal diminuera d'un tiers. La question mérite donc qu'on s'y arrête.

Pour la bien élucider, le mieux nous paraît être de procéder à une étude comparative détaillée de la durée des manœuvres à différents ouvrages établis pour donner passage à des bateaux de même type. Nous prendrons comme termes de comparaison les trois ouvrages ci-après susceptibles de donner passage aux bateaux du type légal en France.

A. — Ecluse à deux sas accolés, comme celles de la dérivation de la Scarpe autour de Douai dont nous avons fait connaître dans un autre volume les dispositions et le fonctionnement, en donnant pour la durée des diverses manœuvres élémentaires les chiffres résultant de constatations directes [1]. Nous admettrons que l'ouvrage travaille à plein débit, c'est-

1. *Rivières canalisées*, page 299, pages 393 et suivantes.

Digitized by Google

à-dire que les manœuvres se suivent sans interruption, chaque éclusée dans chaque sas donnant successivement passage à deux bateaux, l'un montant l'autre descendant.

B. — Double échelle d'écluses superposées, supposées construites dans des conditions telles qu'on puisse adopter pour la durée des manœuvres élémentaires à chaque sas les mêmes chiffres que dans le cas précédent.

Nous admettrons encore que l'ouvrage travaille à son maximum de débit, c'est-à-dire que dans chaque série de sas, les bateaux marchant dans le même sens se succèdent aussi rapidement que le permet l'exécution ininterrompue des manœuvres.

C. — Ascenseur à double sas des Fontinettes, en admettant toujours que les manœuvres se suivent sans interruption et que jamais un sas ne monte ou ne descende sans contenir un bateau.

Nous avons d'abord dressé un tableau synoptique de la durée des manœuvres dans les deux premiers cas, en ne considérant qu'un seul sas dans le premier et qu'une seule série de sas, celle réservée aux bateaux montants, par exemple, dans le second (page 236).

Les indications fournies par le tableau ci-dessus se résument comme il suit.

En ce qui concerne l'écluse à deux sas accolés, pendant les 22 minutes, durée d'un cycle complet des manœuvres à l'un des sas, des manœuvres semblables ou inverses ont été faites à l'autre sas; il est passé en tout *quatre* bateaux; le débit de l'ouvrage est d'un bateau par 5 m. 30 s.

En ce qui concerne la double échelle de sas superposés, pendant les 14 minutes, durée d'un cycle complet des manœuvres à l'origine d'une des échelles [1], des manœuvres inverses

1. Il résulte de ce chiffre que les bateaux marchant dans l'un ou l'autre sens pourraient se suivre à 14 minutes d'intervalle. Nous avons dit ailleurs (*Rivières canalisées*, pages 303 et 304) qu'aux écluses des Fontinettes, avant leur transformation, cet intervalle était de 38 minutes pour les bateaux mon-

Digitized by Google

DÉSIGNATION DES MANŒUVRES	ÉCLUSE A 2 SAS ACCOLÉS — Un seul sas — DURÉE DES MANŒUVRES				DOUBLE ÉCHELLE DE SAS SUPERPOSÉS — Sas inférieur de la série affectée aux bateaux montants. — DURÉE DES MANŒUVRES			
	par manœuvre		par groupe		par manœuvre		par groupe	
	min.	sec.	min.	sec.	min.	sec.	min.	sec.
Entrée d'un bateau montant ...	2	00	2	00	2	30 [1]	2	30
Fermeture de la porte d'aval...		30				30		
Remplissage du sas...........	3	30	4	30	3	30	4	30
Ouverture de la porte d'amont..		30				30		
Sortie du bateau montant......	2	00			2	30 [2]	2	30
Eloignement du bateau montant.	1	00	6	30		»		
Approche du bateau descendant.	1	30				»		
Entrée du bateau descendant ..	2	00				»		
Fermeture de la porte d'amont..		30				30		
Vidange du sas	3	30	4	30	3	30	4	30
Ouverture de la porte d'aval...		30				30		
Sortie du bateau descendant....	2	00				»		
Eloignement de ce bateau......	1	00	4	30		»		
Approche d'un autre bateau montant..................	1	30				»		
(Les manœuvres vont recommencer dans le même ordre).								
Totaux...........	22	00	22	00	14	00	14	00

1. Nous avons cru devoir porter à 2 1/2 minutes la durée de l'entrée du bateau montant au lieu de 2 qui sont comptées pour l'écluse à 2 sas accolés. Dans ce dernier cas, le bateau qui a été mis en mouvement pour s'approcher de l'écluse, ne fait que le continuer pour y entrer. Dans le cas de sas superposés, le bateau a pu également être mis en mouvement pendant la fin de la vidange du sas inférieur et l'ouverture de la porte d'aval, mais on peut craindre quelques sujétions de plus.

2. Là aussi nous avons compté 2 1/2 minutes au lieu de 2, le bateau qui sort d'un sas pour entrer dans un autre pouvant rencontrer plus de résistance que celui qui sort de l'écluse pour entrer en plein canal.

Digitized by Google

ont été faites à l'extrémité de l'autre échelle ; *deux* bateaux ont été engagés ; le débit de l'ouvrage est donc d'un bateau par 7 minutes.

Quant à l'ascenseur des Fontinettes, nous avons vu plus haut (page 195) que la durée d'un cycle complet des manœuvres était de 18 minutes et pourrait sans doute se réduire à 16, si le double pont-canal à une seule voie de bateau jeté au-dessus du chemin de fer de Boulogne à Saint-Omer n'existait pas. Deux bateaux passent pendant ce temps ; le débit de l'ouvrage est donc d'un bateau par 9 minutes. Il pourrait vraisemblablement s'élever à un bateau par 8 minutes pour un ascenseur de même importance dont les abords seraient aménagés d'une manière plus avantageuse.

En définitive, on est en droit d'affirmer que l'existence en un point d'un canal d'une chute exceptionnelle, équivalente à la chute de plusieurs écluses de hauteur normale, a pour conséquence nécessaire une diminution de la puissance de débit du canal.

Dans le cas où une chute de ce genre est inévitable et si on s'en tient aux ouvrages actuellement consacrés par la pratique, on peut avoir recours soit à une double échelle de sas superposés, soit à un ascenseur.

Dans les cas où on pourra disposer de quantités d'eau suffisantes, il conviendra d'avoir recours à la double échelle de sas superposés. La diminution éventuelle de la puissance de débit du canal est moindre qu'avec un ascenseur et en même temps l'ouvrage se recommande par sa construction simple et robuste, son entretien facile, ses manœuvres traditionnelles, à la portée de tous les agents.

C'est donc seulement quand on sera simultanément en présence d'une grande chute inévitable et d'une pénurie d'eau

tants et de 28 pour les bateaux descendants. L'élévation de ces derniers chiffres doit être attribuée à l'exiguité des dimensions des anciennes écluses et à l'imperfection de leurs moyens de remplissage et de vidange des sas.

Digitized by Google

irrémédiable, que l'emploi des moyens mécaniques pourra apparaître comme l'unique et dernière ressource.

Au surplus, la nécessité de concentrer sur un même point les chutes de plusieurs écluses ne se présente qu'exceptionnellement. Souvent, il serait possible d'intercaler entre les écluses des biefs de longueur suffisante pour que les bateaux pussent s'y croiser et il semble qu'en cas de trafic intensif on pourrait, grâce à une certaine consigne d'exploitation, maintenir au maximum la capacité de fréquentation de la voie, tout en atténuant les inconvénients signalés plus haut des biefs courts. C'est là un point sur lequel nous reviendrons en traitant de l'exploitation.

95. Conclusions. — D'après tout ce qui précède, on ne sera pas surpris que nous donnions notre entier assentiment aux conclusions adoptées par le IXe Congrès international de navigation, en 1902, à Düsseldorf, après examen de la question *des moyens de surmonter les grandes hauteurs* [1], sur les voie de navigation intérieure ; ces conclusions sont libellées comme il suit :

1° *Les écluses à sas restent les engins les plus simples et les plus robustes pour franchir les chutes des canaux. Les bassins d'épargne permettent de réduire très notablement leur consommation d'eau, sans augmentation exagérée de la durée des éclusages. Il y a lieu d'encourager les études ayant pour but de diminuer encore cette consommation* [2] ;

2° *Dans le cas de différences de niveau exceptionnelles à racheter sur une faible longueur, on possède pour les canaux*

1. Sous ce titre, *treize* rapports avaient été produits par MM. Génard et Denil (Belgique), Lefebvre (Belgique), Gerdau (Allemagne), Offermann (Allemagne), Schnapp (Allemagne), Barbet (France), Saner (Angleterre), Thomas (Angleterre), Kuhn (Autriche), Schœnbach (Autriche), Gherassimoff (Russie), Laurell (Suède), Raymond (Etats-Unis d'Amérique). Ces rapports ont été résumés par le rapporteur général, M. Bubendey.

2. Les questions relatives à la consommation des écluses, et notamment à celle des bassins d'épargne, seront traitées dans le chapitre suivant.


Digitized by Google

à grand trafic, dans les échelles d'écluses doubles, un procédé très pratique quand l'alimentation est suffisamment abondante. Si les ressources alimentaires font défaut, les ascenseurs verticaux constituent un procédé qui a la sanction de l'expérience ;

3° *Les plans inclinés, appliqués seulement jusqu'ici à des bateaux de faibles dimensions, ont fait, pour des bateaux de navigation intérieure de fort tonnage, l'objet de propositions ingénieuses. Le congrès émet le vœu qu'un essai pratique comportant la construction et l'exploitation d'un de ces engins soit effectué le plus tôt possible.*

Il est à peine besoin de faire remarquer que la décision prise récemment par le ministère I. R. du Commerce d'Autriche et relatée plus haut (page 231) donne satisfaction au vœu formulé à la fin des conclusions du Congrès.

Digitized by Google

Digitized by Google

CHAPITRE VI

CONSOMMATION D'EAU DES CANAUX

---

96. Objet et division du chapitre. — Dans les chapitres précédents, nous avons étudié successivement la section transversale des canaux, leur tracé, les ouvrages d'art spéciaux que comporte leur établissement ; déjà, à plusieurs reprises, nous avons eu occasion de signaler l'importance capitale de l'*alimentation*. On appelle ainsi l'ensemble des procédés mis en œuvre en vue d'assurer à chaque instant, en chaque point d'un canal, l'adduction de la quantité d'eau nécessaire pour maintenir constamment dans la cuvette le niveau d'eau correspondant au mouillage réclamé par la batellerie. Mais avant d'aborder l'étude de ces procédés, il est indispensable de bien connaître les besoins auxquels ils doivent satisfaire, d'être exactement renseigné sur la *consommation d'eau des canaux*.

Tout d'abord, il y a lieu de distinguer entre la *consommation utile*, qui correspond au fonctionnement des écluses ou autres ouvrages élévateurs, et les *déperditions*. Ces dernières proviennent de différentes causes, mais les pertes à travers le sol, par suite du défaut d'imperméabilité de celui-ci, en forment de beaucoup la plus grande partie.

L'étude des moyens à employer pour atténuer autant que possible ces pertes, soit lors de l'exécution d'un canal, soit ultérieurement, à titre de travaux d'entretien ou de grosses réparations, se rattache donc étroitement à la question de la consommation d'eau des canaux.

Digitized by Google

En conséquence, le présent chapitre se divise en quatre sections, savoir : consommation utile ; déperditions ; précautions à prendre dans l'exécution des terrassements ; travaux d'étanchement.

§ 1

CONSOMMATION UTILE

97. Consommation normale aux écluses. — Pour faire passer un bateau dans une écluse, il faut d'abord emprunter au bief supérieur la quantité d'eau nécessaire pour remplir le sas, pour élever l'eau dans le sas du niveau du bief inférieur à celui du bief supérieur; c'est ce qu'on appelle le *volume d'une éclusée*, ou quelquefois *d'une bassinée*. S'il s'agit d'un bateau montant, le bief supérieur doit encore fournir une quantité d'eau égale au déplacement de ce bateau, au moment où il quitte l'écluse; s'il s'agit d'un bateau descendant, au moment où il pénètre dans l'écluse, un volume d'eau égal à son déplacement est rendu au bief supérieur. La moyenne est précisément égale au volume d'une éclusée.

Cette moyenne se réduit à moitié, si on peut profiter d'une même manœuvre pour faire passer deux bateaux marchant en sens contraires. C'est là une combinaison qu'on s'applique à réaliser, autant que faire se peut, dans la pratique ; mais la chose n'est pas toujours possible et comme en matière de consommation d'eau il faut toujours compter très largement, la règle est d'admettre qu'une écluse consomme autant de fois le volume d'une éclusée qu'il y passe de bateaux dans l'un et l'autre sens.

Quelques chiffres ne seront pas inutiles pour bien préciser les idées. Supposons une écluse du type légal à bajoyers verticaux, la surface du sas à remplir est le produit de sa longueur par sa largeur. Seulement, ici, ce n'est plus la longueur

Digitized by Google

utile qu'il faut considérer, mais bien la longueur de busc en busc, soit, en nombre rond, 43 mètres; et, d'autre part, la largeur doit être portée à 5 m. 35 environ pour tenir compte des enclaves d'aval, on arrive ainsi à une surface de 230 mètres carrés en nombre rond. Pour une hauteur de chute ordinaire de 3 mètres, le volume de l'éclusée sera de $230 \times 3 = 690$ soit 700 mètres cubes. Admettons maintenant une circulation annuelle d'un million de tonnes (notablement supérieure à celle de l'ensemble des canaux en France), les bateaux portant 200 tonnes en moyenne; cela représente un mouvement annuel de 5.000 bateaux, soit 17 bateaux par jour en moyenne à raison de 300 jours de navigation par an. On doit donc compter pour la consommation d'eau moyenne de l'écluse $700 \times 17 = 11.900$ soit 12.000 mètres cubes par jour.

Quoi qu'il en soit, au fur et à mesure que la chute ou les dimensions en plan d'une écluse s'accroissent, le volume de l'éclusée et par conséquent la consommation d'eau augmentent proportionnellement. Aux écluses de 5 m. 20 de chute du canal du Centre, on compte 1.200 mètres cubes pour le volume d'une éclusée; pour le grand sas de l'écluse de tête du canal Saint-Denis, le volume d'une éclusée atteint près de 4.800 mètres cubes, etc... Aussi nombre d'ingénieurs se sont-ils depuis longtemps préoccupés des moyens de diminuer la consommation d'eau aux écluses.

98. Bassins d'épargne. — Le moyen aujourd'hui couramment pratiqué consiste dans l'emploi de *bassins d'épargne*. On appelle ainsi un bassin établi à proximité du sas de l'écluse et susceptible d'être mis à volonté en communication avec lui. Au début de la vidange du sas, au lieu d'envoyer les eaux dans le bief inférieur, on les dirige dans le bassin d'épargne. Le cube ainsi emmagasiné servira à commencer le remplissage lors de la manœuvre suivante au cours de laquelle on n'aura à prendre au bief supérieur que le complément, c'est-à-dire une fraction seulement du volume d'une éclusée.

Digitized by Google

Un exemple concret fera mieux comprendre le fonctionnement du système. Soit h la hauteur de chute d'une écluse (fig. 28) ; supposons que le bassin d'épargne, de même super-

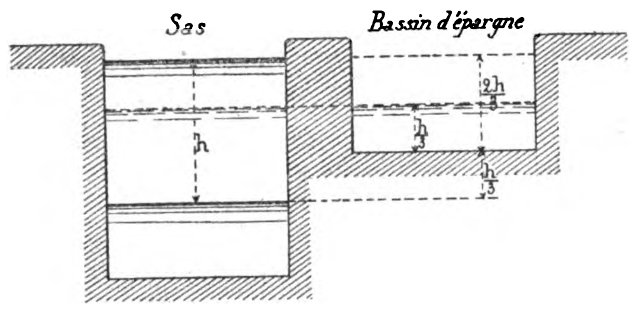


Fig. 28.

ficie que le sas, ait son plafond arasé à une hauteur $\frac{h}{3}$ au-dessus du niveau du bief d'aval. Si, lors du passage d'un bateau descendant, on met d'abord le sas plein en communication avec le bassin d'épargne supposé vide, le premier se videra d'un tiers et le second se remplira de moitié. On fermera alors la communication entre le bassin et le sas et on achèvera de vider celui-ci par les procédés ordinaires.

Quand, les portes d'aval une fois refermées, il s'agira de remplir le sas à nouveau, on rouvrira la communication ; l'eau contenue dans le bassin s'écoulera dans le sas et le remplira au tiers ; on n'aura à emprunter au bief supérieur que les deux tiers du cube total.

Ces dispositions ont été appliquées aux écluses de 9 m. 92 de chute établies en tête du canal Saint-Denis. Le fonctionnement est satisfaisant, sous réserve d'un certain allongement dans la durée des éclusages ; aussi ne fait-on usage des bassins d'épargne que quand il y a pénurie d'eau.

Cet inconvénient d'un allongement dans la durée de l'éclusage est inhérent au système, mais il peut être bien atténué si les choses sont disposées de telle sorte que la communication

Digitized by Google

entre le sas et le bassin d'épargne puisse être interrompue, alors que l'écoulement du premier au second ou inversement se fait encore sous une charge notable.

99. Bassins d'épargne des écluses du canal de Charleroi à Bruxelles. — C'est le cas pour les bassins d'épargne des écluses du canal de Charleroi à Bruxelles, au sujet desquels nous croyons utile d'entrer dans quelques détails[1].

La planche LVII (page 247) n'est qu'un dessin schématique, destiné à bien faire comprendre les mouvements d'eau qui se produisent entre l'écluse (largeur 5 m. 20, longueur utile 40 m. 80, chute 4 m. 10, mouillage sur le busc aval 2 m. 90) et deux bassins d'épargne disposés latéralement et d'une superficie moyenne un peu supérieure à celle du sas (on verra plus loin pourquoi). Les deux bassins sont établis à des niveaux différents; le radier du bassin supérieur correspond à la moitié de la hauteur de la chute, il est à 2 m. 05 en contre-bas du niveau du bief supérieur; le radier du bassin inférieur correspond aux trois quarts de cette hauteur, il est donc à 3 m. 075 en contre-bas du niveau du même bief.

Au commencement de la vidange on fait passer une tranche d'eau de 0 m. 95 (hachures inclinées vers la gauche) du sas dans le bassin d'épargne supérieur où elle ne prend que 0 m. 895 d'épaisseur; on interrompt la communication dès que la chute est réduite à 0 m. 205.

On envoie alors une seconde tranche d'eau de 0 m. 825 (hachures inclinées vers la droite) du sas dans le bassin d'épargne inférieur où elle ne prend que 0 m. 782 d'épaisseur; on interrompt la communication alors que la chute est encore de 0 m. 518.

Lors du remplissage subséquent, l'écoulement dans le sas de

1. Empruntés au rapport présenté au IXe Congrès international de navigation (Düsseldorf, 1902) par M. Em. Lefebvre, ingénieur principal des Ponts et Chaussées, en Belgique, sous le titre : *Moyens de racheter les grandes différences de niveau.*

Digitized by Google

l'eau emmagasinée dans les deux bassins d'épargne se termine sous des chutes atteignant encore respectivement 0 m. 20 et 0 m. 275. L'économie d'eau correspond à une tranche de 1 m. 775 de hauteur, soit 43,3 0/0 de la chute de 4 m. 10 ; elle est de 425 mètres cubes, le volume total de l'éclusée étant de 980.

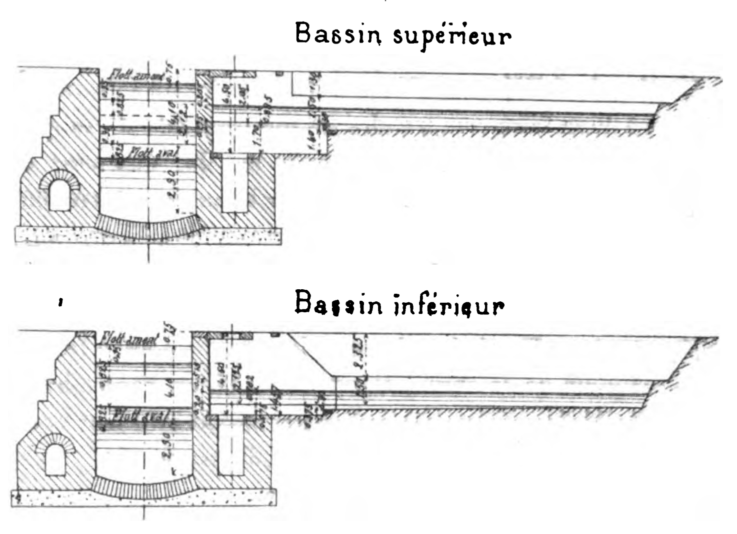
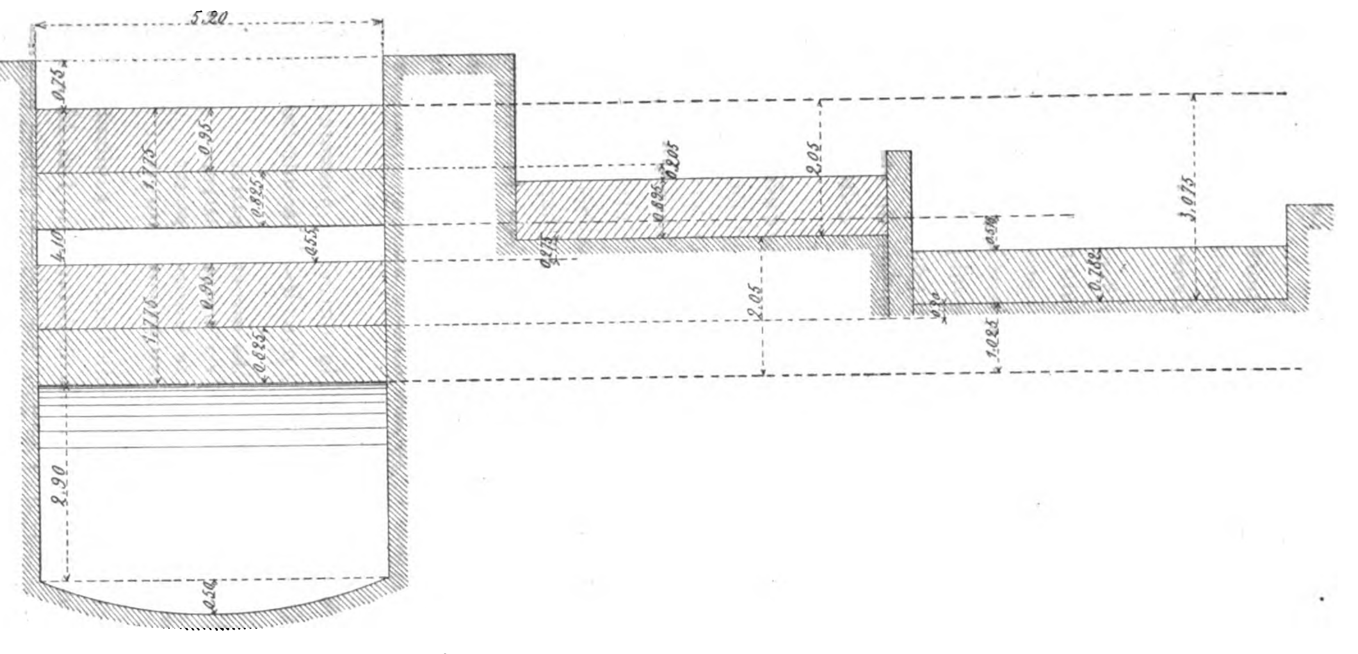


Fig. 29.

La planche LVIII (page 249) et la figure 29 montrent les dispositions effectives des ouvrages. Les bassins d'épargne sont accolés au bajoyer droit de l'écluse et leurs parois sont disposées de manière à leur donner la forme d'entonnoirs, dont les parties rétrécies forment deux puits de 2 m. 40 de diamètre ouverts au-dessus de l'aqueduc longitudinal servant aux manœuvres d'eau.

Des vannes cylindriques de 1 m. 40 sont installées sur l'axe de ces puits et permettent d'établir la communication entre les bassins et l'aqueduc de remplissage et de vidange du sas ; elles sont placées dans des caves ouvertes vers les bassins, dont les radiers sont à 0 m. 35 seulement au-dessus du niveau d'aval.

Digitized by Google



Pl. LVII. BASSINS D'ÉPARGNE DES ÉCLUSES DU CANAL DE CHARLEROI A BRUXELLES. — DESSIN SCHÉMATIQUE

Digitized by Google

Ces caves sont limitées par des murs courbes dont les développements sont tels qu'une hauteur de 0 m. 30 sur le couronnement donne une surface équivalente à celle des vannes cylindriques.

Au delà de ces seuils, le radier des bassins est disposé en rampe régulière d'une hauteur totale de 0 m. 30 ; c'est l'arête extérieure limitant ce radier, arête projetée suivant une horizontale dans les coupes de la figure 29, qui est placée à mi-hauteur des niveaux d'amont et d'aval pour le bassin supérieur et aux trois quarts de cette hauteur pour le bassin inférieur.

En projection horizontale, la surface de chaque bassin au niveau de l'arète en question, y compris celle de la cave adjacente, est égale à la surface du sas.

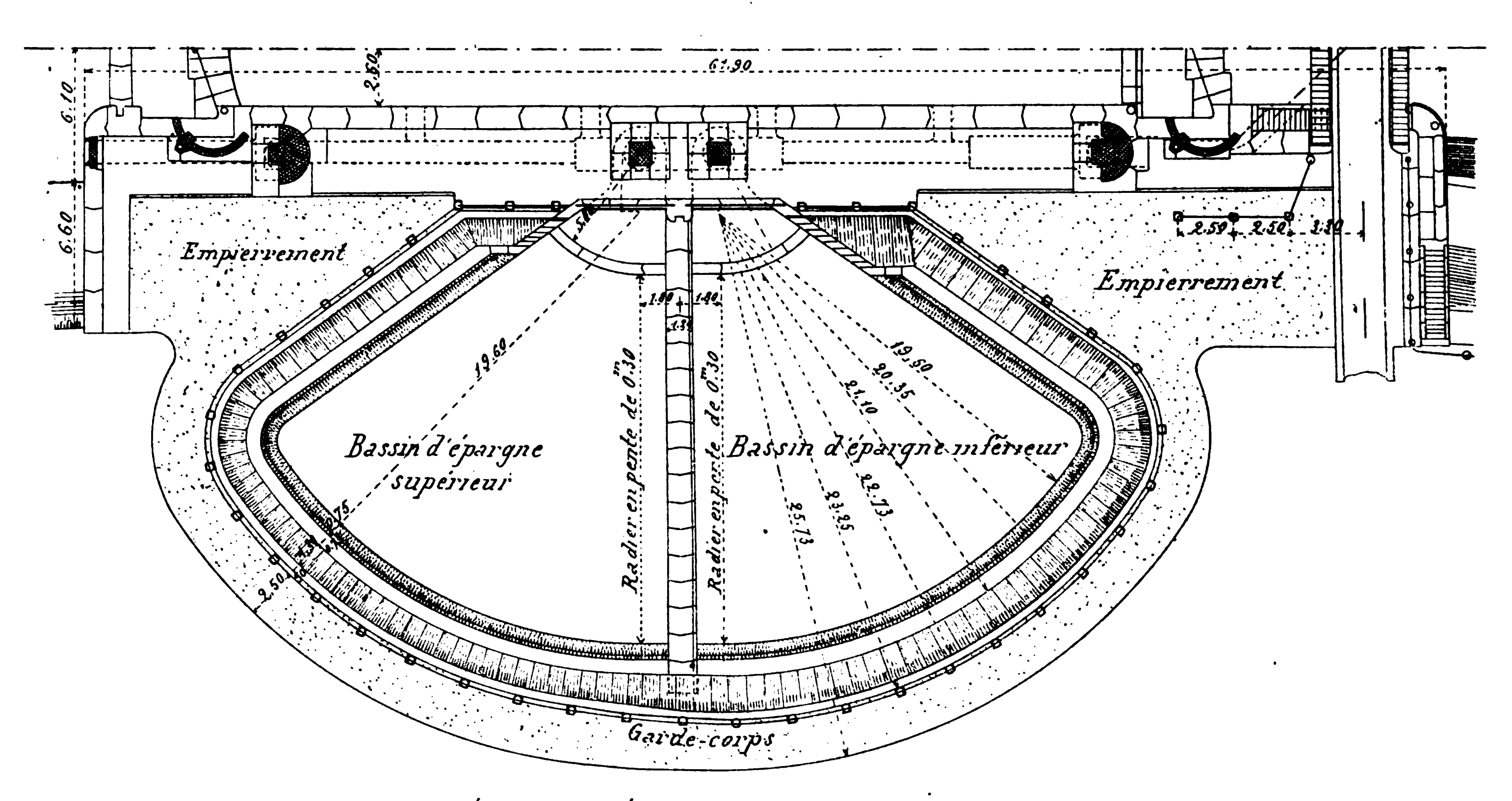
Les rives de ces bassins sont constituées, en dehors du mur de séparation dont l'épaisseur est de 1 m. 20, par des talus inclinés à 1/2 et perreyés sur une hauteur verticale de 1 m. 50. Les talus, interrompus à ce niveau par une risberme horizontale de 0 m. 75 de largeur, sont prolongés jusqu'à la plate-forme de l'écluse avec une inclinaison de 45° et défendus par un simple gazonnement. Ces dispositions sont très économiques ; il en résulte que la surface du plan d'eau augmente au fur et à mesure que l'eau monte dans les bassins et que la surface moyenne de la tranche d'eau qu'ils renferment est supérieure à la surface du sas, ainsi que nous l'avons dit plus haut.

D'après les relevés faits, la durée du passage d'un bateau chargé de 300 tonnes serait, dans les différents cas, savoir :

Bateau descendant	sans l'emploi des bassins d'épargne....	14 m. 25 s.
	avec l'emploi des bassins d'épargne....	16 m. 11 s.
Bateau montant	sans l'emploi des bassins d'épargne...	15 m. 25 s.
	avec l'emploi des bassins d'épargne....	17 m. 30 s.

l'allongement de la durée de l'éclusage résultant de l'emploi des bassins d'épargne serait seulement de 1 m. 46 s. pour un bateau descendant et de 2 m. 5 s. pour un bateau montant.

Digitized by Google



Pl. LVIII. BASSINS D'ÉPARGNE DES ÉCLUSES DU CANAL DE CHARLEROI A BRUXELLES. — PLAN

Digitized by Google

100. Vannes cylindriques basses à double effet. — A l'écluse à grande chute du canal Saint-Denis [1], comme aux écluses du canal de Charleroi à Bruxelles, les communications entre le sas et les bassins d'épargne sont établies au moyen de vannes cylindriques basses, mais ces vannes présentent, avec celles que nous avons décrites en détail ailleurs [2], certaines différences commandées par leur mode de fonctionnement spécial. Dans l'espèce elles doivent être à double effet ; elles doivent donner passage à l'eau tantôt du sas dans les bassins, tantôt en sens inverse ; elles doivent rester étanches, soit sous pression intérieure, soit sous pression extérieure.

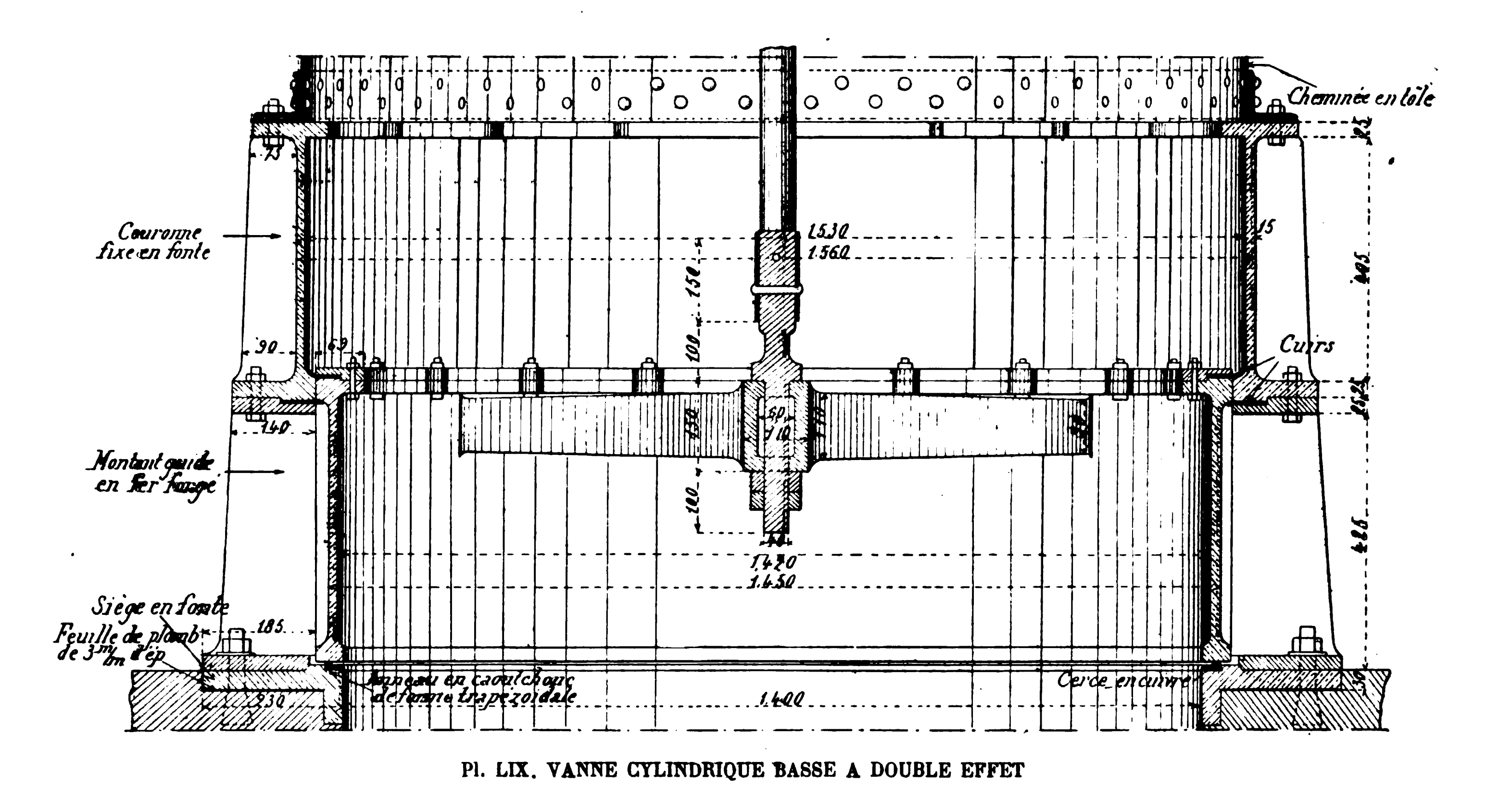
Dans les vannes à simple effet, l'eau venant toujours de l'extérieur, l'étanchéité est obtenue à la partie inférieure du cylindre mobile par un boudin en caoutchouc, à la partie supérieure par un cuir gras, le boudin et le cuir étant pressés par l'eau contre l'orifice qu'ils doivent respectivement fermer. Si nous supposons que l'eau vienne par l'intérieur de ces vannes, le boudin en caoutchouc continuera à fonctionner, comme précédemment, mais le cuir gras, au contraire, tendra à être repoussé de la fente qu'il devrait fermer. La vanne restant étanche sur son siège cessera de l'être à la jonction du cylindre mobile avec le cylindre fixe.

Mais si à la partie supérieure du cylindre mobile on adapte un cuir gras, symétrique pour ainsi dire du premier, on assure dans les mêmes conditions l'étanchéité du côté intérieur. La planche LIX montre le détail des dispositions adoptées pour assurer ainsi l'étanchéité dans l'un et l'autre sens.

D'autre part, l'eau pénétrant par l'intérieur de la vanne exercerait sur le couvercle une pression tendant à le soulever, à laquelle on ne pourrait résister qu'en ancrant fortement les montants ; encore serait-il à craindre, à cause des trépidations auxquelles ces vannes sont soumises, qu'un ancrage ne

1. *Annales des ponts et chaussées*, 1893, 2e semestre, pages 82 et 83.
2. *Rivières canalisées*, pages 315 et suivantes.

Digitized by Google



Pl. LIX. VANNE CYLINDRIQUE BASSE A DOUBLE EFFET

Digitized by Google

vint à se casser assez rapidement. Aussi a-t-il paru préférable de supprimer le couvercle et de prolonger le cylindre fixe par un cylindre en tôle de même diamètre montant jusqu'au-dessus du plan d'eau d'amont ; de cette façon on évite toute tendance au soulèvement.

101. Autres exemples de bassins d'épargne. — Nous citerons encore l'application des bassins d'épargne qui a été faite au canal de l'Elbe à la Trave en vue d'uniformiser autant que possible la consommation d'eau des écluses, au nombre de sept, dont les hauteurs de chute sont très différentes. On trouvera dans le tableau ci-dessous les données du problème ainsi que les résultats obtenus. L'emploi des bassins d'épargne ayant, d'ailleurs, pour effet d'augmenter la durée de l'éclusage, on n'y a recours que pendant l'été, lorsque l'eau d'alimentation est rare et qu'il y a intérêt à la ménager.

ÉCLUSES	HAUTEUR de chute	NOMBRE de bassins d'épargne	SURFACE de chaque bassin pris isolément	HAUTEUR de chute réduite correspondant à l'emploi des bassins d'épargne
	M.		M. Q.	M.
de Bussau......	1.65 [1]	»	»	»
de Crumesse....	2.75	1	2.800	1.73
de Berkenthin...	1.75	»	»	»
de Behlendorf...	1.65	»	»	»
Donner.........	4.18 à 3.68	2	2.800	1.69 à 1.88
de Witzeeze....	3.28 à 2.48	2	2.730	1.24 à 1.44
de Lauenbourg..	3.89 [2]	3	2.280	1.54 à 2.12

1. Normalement, variable de 0 m. 00 à 3 m. 15.
2. Normalement, variable de 0 m. 00 à 5 m. 81.

Digitized by Google

Disons enfin que, sur le canal de Dortmund à l'Ems, les deux écluses de Münster et de Gleesen dont les chutes, exceptionnelles, atteignent respectivement 6 m.20 et 6 m. 34, sont aussi pourvues de bassins d'épargne.

102. Autres moyens de diminuer la consommation d'eau aux écluses. — On a cherché à économiser l'eau pendant la manœuvre des écluses par l'emploi d'aqueducs à colonnes liquides oscillantes, suivant un principe déjà connu, étudié par M. le marquis de Caligny depuis 1833. L'écluse de l'Aubois, sur le canal latéral à la Loire, dans le département du Cher, a été munie, en 1868, d'appareils combinés dans le système et suivant les indications de M. de Caligny. Ils n'ont jamais fonctionné avec succès et ne fonctionnaient déjà plus du tout en 1886. En 1894, à l'occasion des travaux d'amélioration générale (mise au gabarit légal) du canal, l'écluse de l'Aubois a été démolie et rétablie suivant le type ordinaire. On peut trouver dans le *Cours de navigation intérieure* de M. de Lagrené (tome III, pages 145 et suivantes) une description détaillée de cet ouvrage précédée de longs développements sur le fonctionnement et la théorie des aqueducs à colonnes liquides oscillantes (pages 124 à 145). Nous nous contenterons de dire que le fonctionnement de l'écluse de l'Aubois comportait l'emploi de vannes cylindriques hautes dont M. de Caligny paraît bien être l'inventeur.

Citons encore le flotteur de M. de Béthancourt. Ce flotteur peut se mouvoir dans un bassin contigu au sas, comme un bassin d'épargne, mais en communication constante avec lui. Les dimensions et les dispositions du bassin et du flotteur sont telles que lorsque ce dernier est complètement immergé l'eau atteint dans le sas le niveau du bief supérieur et qu'elle descend, au contraire, au niveau du bief inférieur, lorsque le flotteur émerge suffisamment. Toute consommation d'eau se trouve ainsi supprimée. On peut trouver dans le *Cours de navigation intérieure* de M. Guillemain (tome II, pages 244 et

Digitized by Google

suivantes) quelques détails sur le principe de cet appareil dont nous ne connaissons aucune application pratique.

Cette idée d'une écluse fonctionnant *sans consommation d'eau* paraît avoir été plusieurs fois reprise ; un mémoire a été présenté sous ce titre au IXᵉ Congrès international de navigation tenu à Düsseldorf en 1902. Le dispositif étudié par M. Schnapp, inspecteur des travaux hydrauliques à Berlin, est une combinaison du flotteur de Béthancourt et des bassins d'épargne.

C'est également dans la catégorie des écluses sans consommation d'eau qu'il faut ranger l'écluse oscillante, système Cardot, dont la description, avec calculs à l'appui, a été donnée dans le numéro du 10 mai 1903 de la *Revue technique* [1].

On comprendra que pour ces différents systèmes qui n'ont jamais fait même l'objet d'un essai, nous nous contentions d'une simple énumération.

103. Consommation d'eau aux écluses superposées. — Nous avons vu que si l'ouvrage comporte une seule série d'écluses superposées, le passage des bateaux doit y être réglementé de telle sorte que des périodes alternatives plus ou moins longues soient réservées exclusivement à ceux qui montent et à ceux qui descendent ; dans le cas de deux séries accolées, l'une serait entièrement consacrée aux bateaux montants et l'autre aux descendants ; on doit donc considérer comme le mode de fonctionnement normal de ces échelles d'écluses celui qui ne comporte de mouvement que dans un seul sens. Alors, si on suit attentivement la manœuvre, on voit que l'eau de chaque échelon est employée à l'échelon suivant, si bien que le passage d'un bateau à tous les échelons ne demande pas plus d'eau prise au bief supérieur que le passage de ce bateau à une écluse simple.

1. *La Revue technique ; Annales des travaux publics et des chemins de fer et de l'assainissement.*

Digitized by Google

104. Consommation d'eau aux ascenseurs et aux plans inclinés. — Avec les ascenseurs qui transportent le bateau flottant dans un sas plein d'eau, la consommation nécessaire se réduit à deux éléments : 1° le volume de la tranche d'eau supplémentaire introduite dans le sas parvenu au point le plus élevé de sa course, pour provoquer le mouvement de tout le système ; 2° le volume d'eau compris dans les espaces nuisibles inévitables entre les portes qui se trouvent aux deux extrémités des sas mobiles d'une part, et aux têtes des biefs d'amont et d'aval d'autre part. Lorsqu'on utilise la chute pour produire la force motrice dont on a besoin, il faut encore ajouter la quantité d'eau empruntée au bief supérieur à cet effet.

Les éléments de la consommation d'eau resteraient les mêmes en cas de plans inclinés sur lesquels les bateaux seraient également transportés à flot dans un sas plein d'eau.

Dans le cas de plans inclinés sur lesquels les bateaux sont transportés à sec au moyen de chariots qui s'immergent alternativement dans le bief inférieur et dans le bief supérieur, dans le cas de *summit planes*, la consommation tombe à zéro, ou plus exactement se réduit à la quantité d'eau empruntée pour créer une force motrice, s'il y a lieu.

105. Fuites par les portes d'écluses. — Le plus souvent, les portes d'écluses ne sont rien moins qu'absolument étanches. La quantité d'eau qu'elles laissent passer, extrêmement variable, dépend naturellement de la largeur et de la chute de l'écluse et surtout de l'étanchéité des vantaux ainsi que de la précision des contacts soit entre les vantaux eux-mêmes, soit entre les vantaux et les maçonneries. Le mode de construction et le degré de perfection dans la pose des portes ont donc une influence prépondérante.

On conçoit aisément que ces fuites soient bien difficiles à évaluer. Si, pour une porte busquée de 5 m. 20 de largeur et

Digitized by Google

de hauteur ordinaire, nous citons le chiffre de 1000 mètres cubes par 24 heures qui semble résulter d'une enquête à laquelle nous avons procédé, c'est uniquement pour indiquer de quel ordre de grandeur nous pensons qu'elles peuvent être.

Le lecteur sera peut-être surpris de voir que nous faisons entrer les fuites par les portes d'écluse dans la consommation utile. Nous ne nous y sommes décidé qu'après mûre réflexion et pour les deux raisons suivantes. D'une part, les fuites en question sont la conséquence de la constitution et du fonctionnement des écluses. D'autre part, l'eau qui passe à travers les portes, comme celle qui est employée aux éclusées, n'est pas de l'eau perdue ou plutôt elle n'est perdue qu'à la dernière écluse du canal, ou de chaque portion du canal pourvue d'une alimentation spéciale. Le cube qui s'échappe d'une écluse autre que la dernière sera en effet utilisé soit aux écluses suivantes, soit en cours de route et, alors même qu'il n'y aurait aucun bateau à faire passer aux écluses, il faudrait, soit en manœuvrant les ventelles de ces ouvrages, soit au moyen d'ouvrages spéciaux, envoyer de l'amont à l'aval des quantités d'eau importantes pour faire face aux déperditions dont nous nous occuperons plus loin.

C'est assurément pour cette raison qu'on ne se préoccupe pas beaucoup, en général, des fuites par les portes d'écluse et qu'on ne s'applique pas à les réduire comme il ne serait sans doute pas bien difficile de le faire. En ce qui concerne notamment les contacts entre les vantaux ou entre ceux-ci et la maçonnerie, l'emploi du caoutchouc permettrait vraisemblablement de les rendre beaucoup plus parfaits, mais on considère que le résultat à espérer ne serait pas en rapport avec la dépense et avec les sujétions.

Digitized by Google

§ 2

DÉPERDITIONS

106. Pertes par évaporation. — Les pertes par évaporation varient naturellement avec la température, l'état hygrométrique de l'air, la quantité de pluie qui tombe, l'intensité du vent, donc avec le climat et avec la saison.

On lit dans nombre d'ouvrages que l'évaporation journalière équivaut en moyenne à une tranche d'eau de 0 m. 004 d'épaisseur, ce qui correspond à 1 m. 46 par an. Nous n'avons pu retrouver l'origine de ce chiffre qui nous paraît convenir à une contrée déjà passablement chaude et peu pluvieuse et qui s'éloigne singulièrement de la réalité pour d'autres régions, mais qui dans tous les cas doit s'appliquer à l'*évaporation absolue*.

Il y a lieu, en effet, de distinguer entre l'*évaporation absolue et la perte par évaporation*; celle-ci n'étant que l'excès de celle-là sur la quantité de pluie tombée ; or dans certaines localités, si on considère une période d'un an, cet excès est négatif; au lieu d'une perte, il y a un gain. Voici, par exemple, pour trois stations d'observation[1] installées sur le canal du Nivernais, la valeur annuelle (moyenne des cinq années 1891-1895) de l'évaporation absolue, de la hauteur de pluie

1. La manière dont ces observations sont organisées est fort simple. Considérons un bassin parfaitement étanche, contenant de l'eau dont la surface est librement en contact avec l'atmosphère. Le niveau de la nappe liquide tend à s'abaisser par suite de l'évaporation ; il tend, par contre, à se relever lors de la précipitation, sous forme de pluie, de la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère. Les variations de ce niveau, qu'il est aisé de constater périodiquement par une simple lecture sur une échelle, ne sont donc autre chose que les différences, positives ou négatives, entre l'épaisseur de la couche d'eau évaporée et la hauteur de pluie tombée. Celle-ci étant donnée par le pluviomètre, il est très facile d'en déduire celle-là.

Digitized by Google

DÉSIGNATION DE LA STATION	ÉVAPORATION ABSOLUE	HAUTEUR DE PLUIE TOMBÉE	PERTE PAR ÉVAPORATION
Decize................	0 m. 920	0 m. 763	0 m. 157
La Collancelle..........	0 m. 488	0 m. 757	— 0 m. 269
Clamecy..............	0 m. 622	0 m. 691	— 0 m. 069

tombée et de la perte par évaporation. Une station d'observation est également installée au réservoir des Settons. En 1894, l'évaporation absolue a été de 0 m. 769 ; la hauteur de pluie tombée de 1 m. 410 ; le *gain* s'est élevé à 0 m. 641.

Ce qu'on peut dire c'est que ces moyennes annuelles ne sont pas ce qui importe le plus dans la question qui nous occupe. C'est pendant la saison chaude et les périodes de sécheresse qu'une alimentation suffisante est surtout indispensable et particulièrement difficile et, à ce moment-là, c'est bien l'évaporation absolue qu'il convient de faire entrer en ligne de compte avec les autres déperditions.

Quoi qu'il en soit, si on considère un canal des dimensions ordinaires en France, qui mesure environ 20 mètres de largeur au plan d'eau, une tranche d'eau de 0 m. 004 correspond à un volume de 80 litres par mètre courant et par jour, ce qui est relativement peu.

107. Pertes par infiltration et imbibition. — Bien autrement importantes sont les pertes par infiltration et imbibition.

Nous ne mentionnerons que pour mémoire les fuites apparentes ou *renards* qui se font jour à travers les parois de la cuvette, car partout où on en constate l'existence on doit se hâter de les faire disparaître. Au cas où, temporairement, on serait obligé de les laisser subsister, on pourrait les jauger et déterminer ainsi directement la charge dont elles grèveraient l'alimentation.

Digitized by Google

Les pertes par infiltration et imbibition qu'il y a surtout lieu de considérer ne sont pas apparentes ; elles varient dans les limites les plus étendues avec la nature du sol dans lequel le canal est ouvert. Le climat et la saison suivant lesquels la dessiccation de ce sol est plus ou moins complète peuvent avoir, aussi, quelque influence. En général, ces pertes diminuent avec le temps qui amène le colmatage et même l'envasement de la cuvette ; elles peuvent d'ailleurs être grandement atténuées par l'exécution de travaux d'étanchement judicieux.

C'est ainsi que sur le canal de la Haute-Marne la perte moyenne, par mètre courant et par jour, relevée à la fin d'avril ou au commencement de mai a été :

en 1891	de 2 mc.	730
» 1892	2	390
» 1893	2	310
» 1894	2	060
» 1895	1	670

Sur le canal de la Marne à la Saône, le bief de Brethenay qui, à l'origine, avait perdu jusqu'à 105 mc. par mètre courant et par jour, ne perdait plus que 13 mc. 5 au plus, en 1895.

Il serait sans intérêt de multiplier les exemples et d'accumuler les chiffres relatifs à des cas particuliers ; nous croyons qu'au point de vue pratique la question doit se poser comme il suit : *à quel chiffre peut-on ramener la perte moyenne dans un canal mis en service depuis un assez grand nombre d'années, après y avoir excuté en tant que de besoin les travaux d'étanchement nécessaires* ?

Nous estimons que pour les canaux des dimensions ordinaires en France (mouillage de 2 m. 20, largeur de 10 à 12 mètres au plafond et de 18 à 20 au plan d'eau), satisfaisant aux conditions énoncées ci-dessus, une perte moyenne de 500 litres par mètre courant et par jour doit être considérée comme une limite tout à fait inférieure. Pour être prudent,

Digitized by Google

on comptera le double, *un mètre cube* par mètre courant et par jour (1.000 m. c. par kilomètre), en y comprenant les pertes par évaporation et aussi celles pour fausses manœuvres dont nous nous occuperons plus loin.

Toutes choses égales d'ailleurs, les pertes par infiltration et imbibition augmentent avec les dimensions du canal ; cela est de toute évidence. Si la largeur au plafond augmente seule, le mouillage restant sans changement, les pertes croissent moins vite que la largeur puisque celles qui se produisent sur les talus ne sont pas modifiées.

Par contre, ces pertes augmentent rapidement avec le mouillage. On a dû s'en rendre compte d'une manière précise, sur le canal de la Marne au Rhin, dans la partie voisine de la nouvelle frontière, où l'eau est fournie par des réservoirs situés sur le territoire annexé. Les expériences ont été faites concurremment, de part et d'autre de la frontière, par deux procédés différents. Les ingénieurs français ont mesuré, au moyen du débit des ventelles des portes d'écluses, la quantité d'eau nécessaire pour maintenir à hauteur les biefs du canal. De leur côté, les ingénieurs allemands ont mesuré l'abaissement de biefs abandonnés à eux-mêmes et ont calculé le volume géométrique nécessaire pour ramener ces biefs à leur hauteur primitive.

Ces deux séries d'expériences ont conduit à des résultats sensiblement concordants. On a trouvé que quand on passait du mouillage de 1 m. 60, réduit en fait par les vases à 1 m. 40, au mouillage de 2 mètres, les pertes par infiltration augmentaient du simple au double. Dans l'appréciation de ce résultat, il y aurait sans doute lieu de ne pas perdre de vue que dans le premier cas il s'agissait de biefs envasés, par conséquent bien colmatés et dans le second, de biefs curés à vif.

108. Remplissage du canal après un chômage. — C'est bien ici le moment de mentionner l'emprunt qui doit

Digitized by Google

être fait aux ressources alimentaires du canal lorsque, tout ou partie des biefs ayant été mis à sec pendant un chômage, il s'agit de les remplir de nouveau à l'expiration de la période d'interruption de la navigation. Une importante partie de l'eau empruntée est, en effet, absorbée par les terres dans lesquelles est ouverte la cuvette, terres plus ou moins desséchées alors par suite de leur exposition à l'air.

Pour les canaux de dimensions strictement égales à celles du type légal, la capacité de la cuvette est de 26 mc. par mètre courant, soit 26.000 par kilomètre ; mais d'ordinaire les dimensions sont un peu supérieures et il faut compter de 30.000 à 35.000 mètres cubes par kilomètre.

Après un chômage général de quelque durée, un mois par exemple, en belle saison, il serait imprudent de tabler, pour le remplissage, sur moins du *double* du volume ci-dessus, sauf le cas, bien entendu, où la cuvette aurait été revêtue en maçonnerie.

109. Pertes pour fausses manœuvres. — On désigne ainsi les pertes qui se produisent dans diverses circonstances par suite desquelles, le plan d'eau dans un bief dépassant la tenue normale, une certaine quantité d'eau passe par-dessus les déversoirs et est perdue pour le canal.

Tous les biefs n'ont pas leur alimentation spéciale ; loin de là. La plupart empruntent leurs eaux au bief supérieur et les éclusiers ont pour consigne, aussitôt qu'ils voient baisser le bief d'aval, d'ouvrir un peu leurs vannes pour ramener le niveau normal aux dépens du bief d'amont. L'agent préposé à l'écluse supérieure en fait autant et l'emprunt se propage ainsi, de bief en bief, jusqu'aux réserves alimentaires.

Or tous les biefs n'ont pas la même longueur et ne sont pas également influencés par un même temps d'écoulement par les vannes. D'autre part, les émissions d'eau brusquement commencées, brusquement interrompues, comme cela a lieu lors des éclusages, entraînent la formation d'ondes dans les biefs

Digitized by Google

et, par suite, des oscillations aux échelles qui peuvent tromper les éclusiers. Bref, il arrive souvent que ces derniers envoient dans le bief d'aval plus d'eau qu'il n'était nécessaire. L'excédent s'écoule par-dessus les déversoirs et constitue une perte pour le canal.

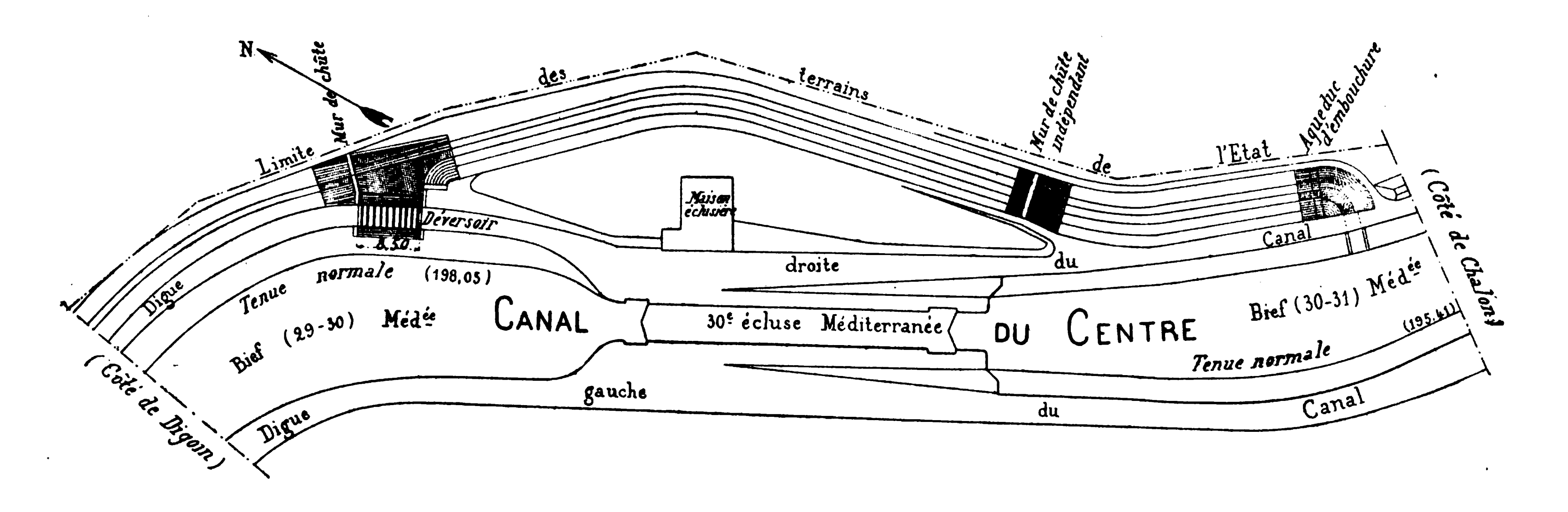
Si, des deux écluses terminales d'un même bief, celle d'amont a une plus forte chute que celle d'aval ou est manœuvrée plus souvent, il peut arriver aussi que la tenue normale soit dépassée et qu'il y ait perte par écoulement sur les déversoirs.

On conçoit qu'il soit assez difficile d'évaluer les pertes de cette nature. A une époque déjà ancienne, M. Comoy comptait pour la totalité du canal du Centre, long de 116 kilomètres, 4.000 mètres cubes par jour, soit 34 mètres par kilomètre et par jour, ce qui n'est pas un gros chiffre. Il importe cependant de les réduire autant que possible. Le choix du personnel et une exacte surveillance peuvent y contribuer dans une large mesure, mais on peut y arriver aussi en employant certaines dispositions dont il convient de dire quelques mots en passaut.

110. Rigoles compensatrices. — Le principe de ces ouvrages est facile à comprendre. Au lieu de laisser se perdre dans les cours d'eau naturels, l'eau qui passe par-dessus les déversoirs d'un bief surabondamment alimenté, on la recueille dans une rigole latérale au canal pour la déverser dans les biefs dont le plan d'eau est au-dessous de la tenue normale.

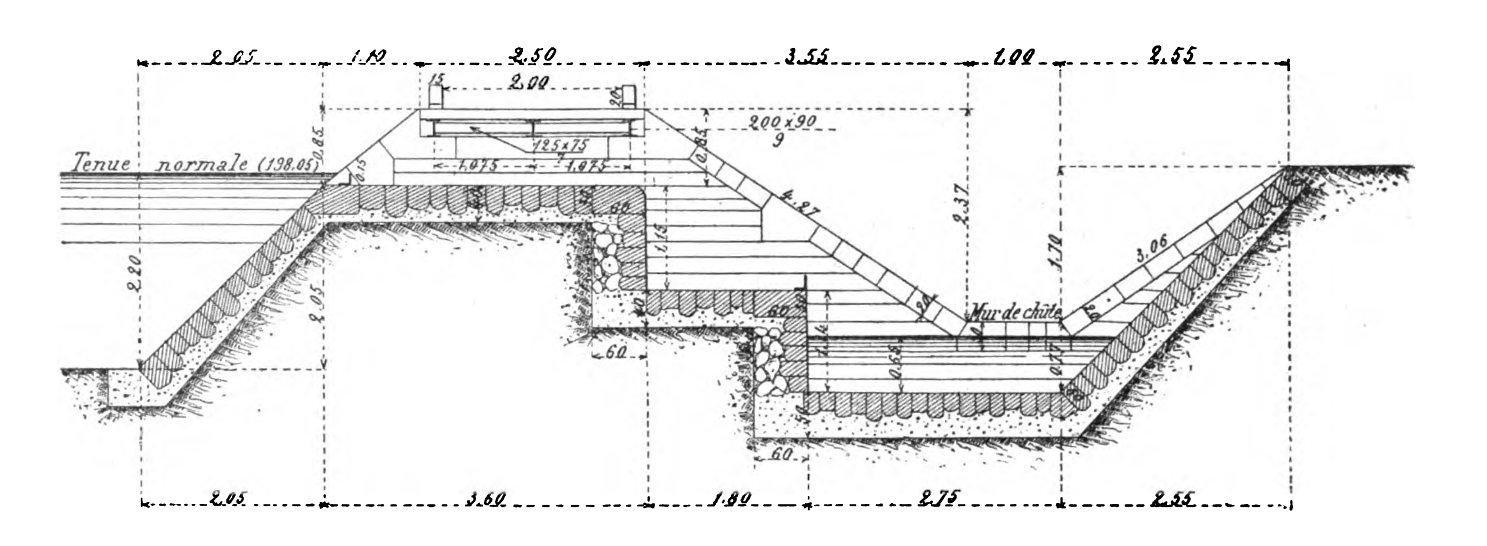
Une rigole contournant une écluse, commandée en tête par un déversoir établi dans le bief d'amont et aboutissant à l'autre extrémité dans le bief d'aval, constitue la plus simple des rigoles compensatrices et l'on conçoit aisément que si cette même disposition se reproduit à plusieurs écluses consécutives, la *compensation* se réalisera entre les biefs où le niveau normal est dépassé et ceux où il n'est pas atteint.

Digitized by Google



Pl. LX. RIGOLE RÉGULATRICE DU CANAL DU CENTRE. — PLAN GÉNÉRAL

Digitized by Google



Pl. LXI. RIGOLE RÉGULATRICE DU CANAL DU CENTRE. — DÉVERSOIR DE TÊTE

Digitized by Google

C'est par la construction d'ouvrages de ce genre qu'on a tout récemment régularisé l'alimentation des biefs de notre canal du Centre séparés par les écluses nos 29, 30 et 31 du versant de la Méditerranée. La planche LX donne le plan général de la rigole de l'écluse n° 30 et la planche LXI une coupe transversale du déversoir de tête. On remarquera qu'outre le déversoir et l'aqueduc de rentrée des eaux dans le bief d'aval, la rigole comporte un mur de chute intermédiaire destiné à couper en deux la chute de 2 m. 64 de l'écluse.

111. Alimentateur automatique. — Cet appareil est destiné, comme son nom l'indique, à maintenir automatiquement constant le plan d'eau des biefs que sépare l'écluse où il est installé; imaginé par M. l'ingénieur en chef Galliot, il a été appliqué d'abord aux écluses du canal de Bourgogne [1].

Sa fonction consiste à fermer la communication entre les deux biefs d'amont et d'aval, tant que ces biefs sont à leur tenue réglementaire et, au contraire, à ouvrir cette communication, soit quand le bief d'amont est trop plein, soit quand le bief d'aval ne l'est pas assez.

Une conduite en ciment de 0 m. 50 de diamètre intérieur est établie entre les deux biefs (pl. LXII, page 267); elle est terminée à l'amont par une vanne que commande un flotteur placé dans un puits communiquant avec le bief d'aval. Quand celui-ci est à son niveau réglementaire le flotteur ferme la vanne ; quand il baisse, le flotteur ouvre la vanne et l'eau du bief d'amont peut s'écouler dans le bief d'aval.

Pour que l'élévation du plan d'eau dans le bief d'amont produise le même effet, le flotteur se termine à sa partie supérieure par un réservoir en forme de cuvette que remplit l'eau du bief d'amont en déversant par-dessus un seuil arasé au niveau réglementaire. La cuvette est percée de trous à sa base pour écouler l'eau qui lui a été amenée du bief d'amont

1. *Collection de dessins distribués aux élèves de l'Ecole des Ponts et Chaussées*, tome IV, p. 141.

Digitized by Google

et ne plus rester chargée, quand ce bief est revenu à sa cote normale.

La vanne qui forme la partie essentielle de l'appareil est une vanne cylindrique, à mouvement horizontal, posée au débouché de la conduite de communication dans le mur en retour d'amont de l'écluse (pl. LXII et fig. 30); elle se com-

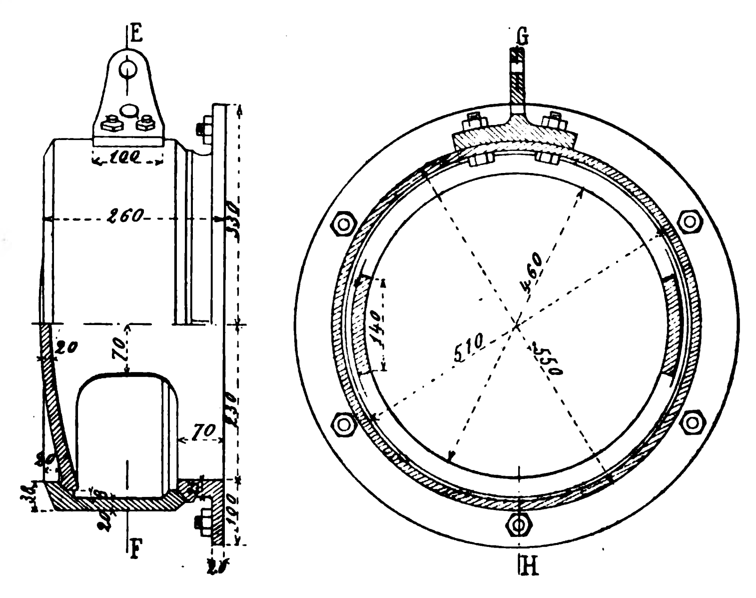


Fig. 30.

pose d'une partie fixe scellée au mur et d'une partie mobile pouvant prendre un mouvement pendulaire sous l'action du flotteur.

La partie fixe comporte un corps cylindrique fermé par un bout et présentant, à l'autre bout, la collerette qui permet le scellement. Ce corps cylindrique, en forme de chapeau, est percé de deux larges fenêtres et comporte en outre deux portées tournées destinées au repos de la partie mobile quand la vanne est fermée.

La partie mobile consiste en une bague cylindrique qui peut coulisser, avec un jeu suffisant, sur la partie fixe et s'appuyer

Digitized by Google

COUPE LONGITUDINALE SUR L'AXE DE LA CONDUITE

Bief d'amont

COUPE TRANSVERSALE

SUSPENSION DE LA VANNE

VANNE OUVERTE

Pl. LXII. ALIMENTATEUR AUTOMATIQUE. — DESSINS D'ENSEMBLE

Digitized by Google

par deux sièges tournés sur les portées également tournées, dont nous avons parlé plus haut. Elle est suspendue, au moyen d'un triangle métallique, sur deux coussinets scellés dans le couronnement de l'écluse et réglés avec assez de précision pour que les mouvements pendulaires de la bague se fassent sans frottement.

On voit qu'il suffira d'une oscillation de cette bague pour découvrir plus ou moins les fenêtres du chapeau fixe et établir ainsi la communication entre les deux biefs; ces oscillations se feront à peu près sans effort, grâce au mode de suspension et à la forme de la vanne; voici comment elles sont produites par les mouvements du flotteur.

Suivant la hauteur du triangle de suspension de la bague, est placée une tige de fer articulée avec ce triangle à sa partie inférieure, embrassant en son milieu, par une boutonnière, un axe fixe perpendiculaire au plan d'oscillation de la bague, et reliée à sa partie supérieure à une tringle horizontale en relation avec le flotteur par un mouvement de sonnette.

Le mécanisme de suspension est protégé dans le bief d'amont par une tôle semi-elliptique qui arrête en même temps les herbes et les feuilles flottantes amenées par le courant d'eau de l'appareil. Sur le terre-plein, le logement de la tringle de commande et le puits du flotteur sont recouverts par des tôles striées. Chaque alimentateur peut débiter 40.000 mètres cubes par jour et est revenu, tout compris, à 1.150 francs environ.

Les résultats obtenus ont été des plus satisfaisants. Là où les écluses en sont pourvues, la suppression des changements de tenue des biefs, et surtout des fausses manœuvres qui les accompagnent nécessairement, correspond à une économie sensible d'eau d'alimentation.

112. Pertes accidentelles. — Ces pertes sont le résultat d'accidents qui causent la vidange de quelque bief, une rupture de digues par exemple, ou dont la réparation rend cette

Digitized by Google

vidange, en tout ou en partie, nécessaire : la mise à fond d'un bateau qu'il faut renflouer, une avarie grave aux parties toujours noyées d'un ouvrage, etc... Un entretien soigné et une exploitation prudente doivent rendre ce genre de pertes très rare ; quant à leur importance, c'est tout à fait question d'espèce. Il n'échappera pas que les *renards* qui peuvent se produire à travers les parois de la cuvette et dont nous avons dit un mot à propos des pertes par infiltration et imbibition (page 258), pourraient tout aussi bien rentrer dans la catégorie des pertes accidentelles.

Quoi qu'il en soit, lorsqu'on est en présence de très longs biefs, il y a un intérêt évident à se ménager les moyens de les fractionner, de les diviser en plusieurs sections indépendantes, de manière à limiter les effets d'accidents tels que ceux mentionnés ci-dessus, notamment les pertes d'eau qui en sont la conséquence. A cet effet, on profite généralement des passages rétrécis que peuvent présenter certains ponts pour y établir des rainures à poutrelles ou même des portes de garde. Dans ce dernier cas, deux portes sont nécessaires, fermant l'une dans un sens, l'autre dans l'autre, pour pouvoir résister à la charge de l'eau de quelque côté qu'elle se produise.

Sur le canal de Dortmund à l'Ems, où l'on rencontre des biefs exceptionnellement longs[1], les ingénieurs allemands ont installé, pour pouvoir les fractionner le cas échéant, des portes de sûreté (*Sicherheitsthore*) d'un système particulier, qui ne comportent pas de rétrécissement sensible de la voie navigable, la largeur de 18 mètres ménagée entre les bajoyers de ces ouvrages permettant le croisement des bateaux (planche LXIII, page 271).

La porte de sûreté se compose essentiellement d'une poutre métallique horizontale, poutre tubulaire à treillis, portant à sa partie supérieure un bordage en tôle profilé suivant une sur-

1. Le grand bief, de Herne à Münster, mesure plus de 67 kilomètres de longueur.

Digitized by Google

face cylindrique à génératrices horizontales. Lorsque la porte est levée, dans la position figurée à la demi-coupe transversale, la poutre, supportée à ses extrémités par deux pylônes également métalliques, forme au-dessus du canal une sorte de portique qui ne gêne pas le mouvement des bateaux, la partie inférieure de la poutre se trouvant à 4 m. 22 au-dessus du niveau des plus hautes eaux.

Tout le système est mobile autour d'un axe horizontal ; par un mouvement de rotation autour de cet axe, la poutre peut être amenée à reposer tout de son long sur le plafond du canal, tandis que ses extrémités viennent se loger dans des enclaves ménagées à cet effet dans les bajoyers, ainsi que le montre la coupe longitudinale. Dans cette position le bordage en tôle, dont le bout supérieur surmonte le niveau de l'eau, en intercepte le passage.

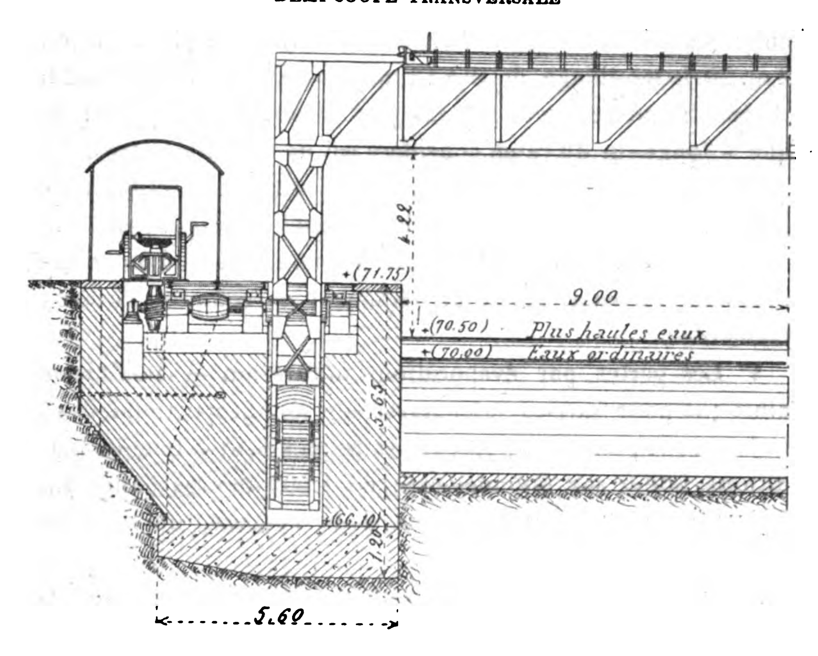
Ce bordage affectant la forme d'une surface cylindrique dont l'axe est précisément l'axe de rotation du système, on voit que c'est sur cet axe que sont reportées toutes les pressions de l'eau ; le mouvement de la porte est donc possible par tout état des eaux, même dans l'eau courante, et de quelque côté que se produise la pression.

Nous n'entrerons pas dans le détail des mécanismes et des contrepoids qui rendent cette manœuvre facile; les lecteurs désireux d'être plus amplement renseignés pourront consulter, notamment, le *Guide spécial* pour l'excursion à Dortmund et à Henrichenburg, qui a été distribué aux membres du Congrès de Düsseldorf. Nous dirons seulement que la porte peut être manœuvrée au moyen de plusieurs combinaisons d'engrenages dont une permet à un seul homme de la relever et dont l'autre permet, en cas d'urgence, de l'abaisser en 2 1/2 minutes.

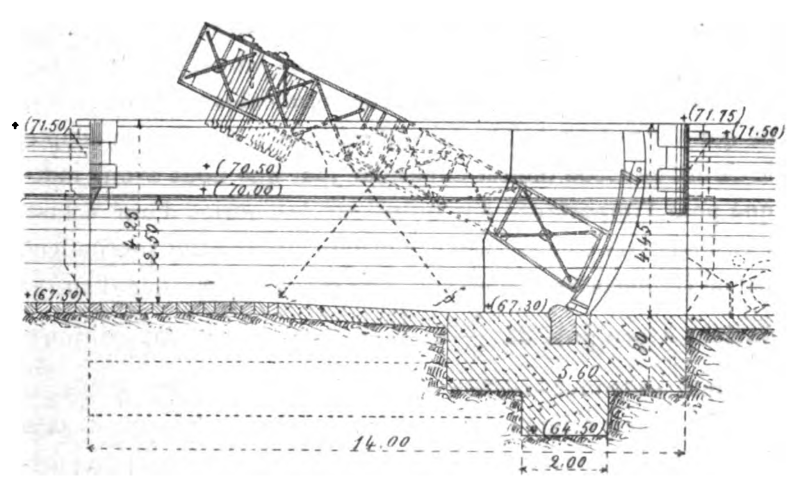
113. Résumé. — Avec les éléments que nous possédons maintenant, il est facile de se faire une idée de la consommation d'eau totale d'un canal du type, non pas légal, mais

Digitized by Google

DEMI-COUPE TRANSVERSALE



COUPE LONGITUDINALE



Pl. LXIII. PORTE DE SURETÉ DU CANAL DE DORTMUND A L'EMS

Digitized by Google

actuellement courant en France, mesurant en pleine voie : 2 m. 20 de mouillage, de 10 à 12 mètres de largeur au plafond, de 18 à 20 mètres de largeur au plan d'eau. Nous supposerons que la longueur du canal considéré est de 100 kilomètres.

La consommation normale, c'est-à-dire abstraction faite des pertes accidentelles, et de la quantité d'eau qui peut être nécessaire pour rétablir le niveau réglementaire dans toute l'étendue du canal après un chômage, se compose de deux éléments :

1° Les pertes par évaporation, infiltration et imbibition ainsi que pour fausses manœuvres, qui sont proportionnelles à la longueur ; on peut, nous avons dit plus haut à quelles conditions, tabler sur une moyenne de 1.000 mètres cubes par kilomètre et par jour; c'est donc dans l'espèce, un total de 100.000 mètres cubes ;

2° La consommation d'eau pour le passage des bateaux à l'écluse terminale, s'il s'agit d'un canal latéral, aux deux écluses terminales si, au contraire, c'est d'un canal à point de partage qu'il s'agit. Si, comme nous l'avons fait plus haut (page 243), on suppose un mouvement moyen (dans les deux sens) de 17 bateaux par jour; si on admet que la chute de l'écluse terminale ou des écluses terminales est de 3 mètres, ce qui rentre tout à fait dans l'ordinaire; si enfin on adopte le chiffre de 1.000 mètres cubes par jour que nous avons indiqué pour l'importance des fuites par les portes d'une écluse terminale ; on trouve que la consommation utile journalière est de 13.000 mètres cubes dans un cas et de 26.000 dans l'autre, variant à peu près de $\frac{1}{8}$ à $\frac{1}{4}$ du montant des déperditions.

Ainsi se trouve justifiée cette assertion que nous avons eu déjà occasion d'émettre, à savoir : que généralement et sauf les cas où le mouvement de la navigation est exceptionnellement actif, la consommation d'eau pour le fonctionnement des écluses n'est qu'une partie restreinte de la consommation totale.

Digitized by Google

On voit également qu'il y a avantage à ce que la chute des écluses terminales soit modérée. On peut même ajouter que s'il doit se trouver sur le canal une écluse de chute exceptionnelle il y a intérêt à ce qu'elle ne soit pas trop rapprochée du terminus. Un exemple numérique rendra la chose tout à fait claire.

Supposons, comme ci-dessus, que l'écluse terminale, de 3 mètres de chute, ayant une fréquentation journalière de 17 bateaux, consomme utilement 12.000 mètres cubes par jour. A l'amont se trouve une écluse de 5 m. 20 de chute, consommant 1.200 mètres cubes d'eau par éclusée et, par conséquent, pour le passage de 17 bateaux, 20.400 mètres cubes. L'écluse de 5 m. 20 dépensera donc, par jour, 8.400 mètres cubes d'eau de plus que l'écluse terminale. Ce chiffre correspond aux pertes par évaporation, infiltration, etc... sur une longueur de 8,4 kilomètres. Si donc, l'écluse de 5 m. 20 est éloignée de plus de 8,4 kilomètres de l'écluse terminale, on peut compter qu'il n'y aura pas de déperdition supplémentaire provenant de l'inégalité de chute des deux écluses; mais si, au contraire, la distance est plus faible, il y aura un supplément de consommation à porter en ligne de compte.

§ 3

PRÉCAUTIONS A PRENDRE DANS L'EXÉCUTION DES TERRASSEMENTS

114. Considérations générales. — Au commencement de ce chapitre, lorsque nous avons traité la question de la consommation d'eau aux écluses, nous avons en même temps passé en revue diverses dispositions appliquées ou proposées pour réduire cette consommation. Plus loin, lorsqu'il s'est agi de pertes pour fausses manœuvres, nous n'avons pas seule-

Digitized by Google

ment cherché à en déterminer l'importance, nous avons aussi indiqué les procédés imaginés en vue de les atténuer. Or, les pertes par infiltration et imbibition constituent, de beaucoup, l'élément prépondérant de la consommation des canaux ; il est donc du plus haut intérêt, on le conçoit de reste, de rechercher les moyens de les réduire au minimum. Diverses précautions sont à prendre à cet effet, dès l'origine, lors de la construction d'un canal, dans l'exécution des terrassements.

En matière de routes ou de chemins de fer, il suffit que les déblais et les remblais soient stables ; en matière de canaux, il faut, en outre, qu'ils soient étanches. Nous avons déjà insisté plus haut (page 36) sur l'importance de cette considération au point de vue de la détermination des tracés. Pour une route, pour un chemin de fer, on s'applique à obtenir, autant que faire se peut, l'équivalence des déblais et des remblais ; pour un canal, cette préoccupation passera au second plan ; on cherchera surtout à établir la cuvette dans des terrains imperméables et, dans la limite du possible, on tâchera que le plafond, au moins, soit entièrement en déblai. Les économies dans la construction, qui se traduiraient par un accroissement des exigences de l'alimentation, ne seraient pas justifiées.

Il faut ajouter d'ailllleurs que si la présence de l'eau dans la cuvette fait de l'étanchéité une nécessité qu'on ne doit jamais perdre de vue, elle constitue aussi, au point de vue de la stabilité, un danger contre lequel il importe de se prémunir. Elle peut, en effet, provoquer des mouvements généraux susceptibles d'avoir pour résultats la rupture des digues ou l'obstruction de la cuvette, c'est-à-dire l'interruption de la navigation, sans compter les graves dommages causés aux propriétés riveraines et quelquefois des accidents plus déplorables encore.

C'est à ce double point de vue que nous traiterons la question des précautions à prendre dans l'exécution des terrassements des canaux. Il va sans dire que les difficultés croissent avec la profondeur des tranchées ou la hauteur des déblais.

Digitized by Google

115. Tranchées dans un terrain solide. — Quand les tranchées sont ouvertes dans un sol ferme, résistant, peu attaquable par les agents atmosphériques, on opère pour les canaux comme pour toute autre voie de communication et nous n'avons rien de spécial à en dire, si ce n'est dans le cas où la cuvette est creusée dans un rocher fissuré.

Il est rare alors qu'on n'ait pas avantage à la revêtir, dès le début, d'un parement maçonné et à s'éviter ainsi pour l'avenir des étanchements coûteux et difficiles. Si l'on ne fait pas immédiatement le revêtement, tout au moins convient-il d'exécuter le déblai pour le recevoir ; ce déblai n'entraîne au début qu'une faible dépense supplémentaire, tandis qu'il en coûte beaucoup plus d'y revenir après coup.

On adopte, d'ailleurs, pour les talus dans les terrains solides les inclinaisons des tranchées de chemins de fer ; on leur donne, en dehors de la cuvette, les mêmes revêtements ; nous n'insisterons pas sur cet objet, traité dans un autre cours.

116. Tranchées dans l'argile. — Lorsque les déblais sont ouverts dans l'argile la présence constante de l'eau au pied du talus est une difficulté de plus, et il est indispensable de prendre les plus grandes précautions pour que les terrains situés au-dessus des banquettes de halage ne puissent se mettre en mouvement, et surtout entraîner dans ce mouvement la cuvette même du canal.

La première chose à faire est de détourner, au moyen de fossés longitudinaux, de contre-fossés, dans lesquels elles sont recueillies, toutes les eaux qui pourraient s'infiltrer dans le sol voisin des talus, les ramollir et y provoquer des affaissements. Mais il est, en outre, indispensable d'assurer l'écoulement de ces eaux en dehors des parties exposées. Leur stagnation pourrait déterminer l'éboulement de la masse de terre qui s'étend jusqu'aux talus et constituer un danger des plus graves.

Digitized by Google

Dans ce but, on doit préalablement, comme nous en avons déjà fait la recommandation, déterminer le profil en long de ces contre-fossés et leur donner une pente suffisante pour l'écoulement facile des eaux. Il faut, ensuite, par un bon entretien, maintenir cette pente et prévenir tout arrêt des eaux. Enfin, pour éviter toute infiltration, il peut encore être utile, dans des terrains particulièrement mauvais, de bétonner ou de maçonner ces fossés de manière à assurer d'une manière complète leur étanchéité. Le cas échéant, il n'y a pas à hésiter à recourir à ce procédé, coûteux il est vrai, mais d'une efficacité certaine.

D'autre part, il faut, malgré l'accroissement de dépense qui peut en résulter, ménager une large banquette de halage sur chaque rive, afin que les mouvements, s'ils viennent à se produire, aient lieu au-dessus de la cuvette et n'interceptent pas la navigation; 4 à 5 mètres au moins de largeur semblent nécessaires, dût-on par l'emploi de perrés ou de murs de soutènement, raidir les talus un peu plus que ne l'exigerait le terrain naturel.

Dans les talus en déblai, les suintements qui viennent à se rencontrer doivent être l'objet de recherches minutieuses. On remonte leur cours aussi loin qu'on peut le faire sans provoquer d'éboulement, et on assure leur passage dans les terres et le long des talus jusqu'à la cuvette, de façon à produire sur toute la surface de la tranchée un drainage très soigné. Partout où des traces d'humidité se font sentir, on place des pierrées ou des drains; on pousse ces recherches jusqu'en dehors de l'argile, si le terrain solide n'est pas loin du talus; on veille, en un mot, à ce que nulle part il n'y ait d'eaux emprisonnées qui puissent détremper la masse argileuse et donner naissance à ces mouvements d'ensemble dont il serait extrêmement difficile de devenir maître, une fois qu'ils auraient commencé à se produire.

Cet asséchement des talus doit être d'autant plus soigneusement assuré qu'on se rapproche davantage des banquettes de

Digitized by Google

halage. Quelques petits éboulements superficiels seraient sans danger, tant qu'ils n'embrasseraient que le haut des talus ; mais l'avarie prendrait une gravité extrême, si la banquette venait à participer elle-même au mouvement. On veillera donc à ce que la zone immédiatement supérieure à cette banquette soit aussi profondément drainée que faire se pourra ; les drains et les pierrées devront d'ailleurs avoir une inclinaison suffisante pour donner aux eaux un écoulement facile, et aucune stagnation ne devra être possible sur la banquette dont l'inclinaison transversale sera réglée et entretenue en conséquence.

Les terres retroussées en cavalier seront, bien entendu, placées assez loin des bords de la tranchée pour n'avoir aucun effet sur l'équilibre des talus.

Telles sont les précautions à prendre dans les tranchées argileuses pour prévenir les mouvements. Si on a pu les réaliser pendant la belle saison en opérant avec rapidité, si l'écoulement des eaux s'opère bien pendant l'hiver par toutes les issues ménagées, si d'ailleurs les surfaces sont revêtues de perrés, de plantations, de gazonnements, on a chance d'échapper aux avaries.

Néanmoins les éventualités malheureuses sont si nombreuses, surtout avec la présence constante de l'eau au pied des talus, qu'on agira sagement en évitant les grandes tranchées argileuses toutes les fois qu'on le pourra. Un éminent technicien répétait volontiers aux jeunes ingénieurs : « la crainte « de l'argile est le commencement de la sagesse ». C'est un axiome qu'il est bon d'avoir constamment présent à l'esprit.

Toutefois, on n'a pas toujours le choix. On est souvent forcé, d'ailleurs, de consolider des tranchées existantes dont certains indices peuvent faire craindre un mouvement ; l'assèchement, par les procédés expliqués ci-dessus, est le premier des remèdes à appliquer, parce qu'il s'attaque immediatement à la cause et peut par suite prévenir l'effet.

Quant à résister à cet effet d'une manière directe, en consolidant le pied de la tranchée et en opposant, par exemple, un


LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CA
Digitized by Google

mur à la poussée des terres ramollies, il n'y faut penser que dans un seul cas, celui où la couche argileuse est assez peu épaisse pour que le mur de soutènement puisse s'appuyer sur les couches incompressibles qui la supportent. Hors ce cas spécial qui ne se présente pas toujours, il s'en faut. le sol se détremperait autour du mur lui-même, jusqu'à ce que la masse tout entière s'ébranlat et le mal différé n'en serait que plus considérable. En résumé, et d'une manière générale, pour prévenir les éboulements dans une tranchée argileuse, il faut drainer les talus énergiquement et aussi profondément que possible, en écartant d'ailleurs du sol toutes les eaux de surface qu'il est loisible de dériver.

117. Réparation d'éboulements dans les tranchées argileuses. — Quand l'éboulement a eu lieu et qu'on doit rétablir le profil du canal, les mêmes considérations conduisent à des travaux analogues. On coupe alors les masses éboulées par de nombreuses pierrées assises sur le sol qui n'a pas participé au mouvement et on assure l'écoulement des eaux de toute la surface de glissement par des issues spéciales qui assèchent la masse détrempée. Une fois l'équilibre rétabli, il devient possible de reproduire l'ancien profil (fig. 31), si l'on

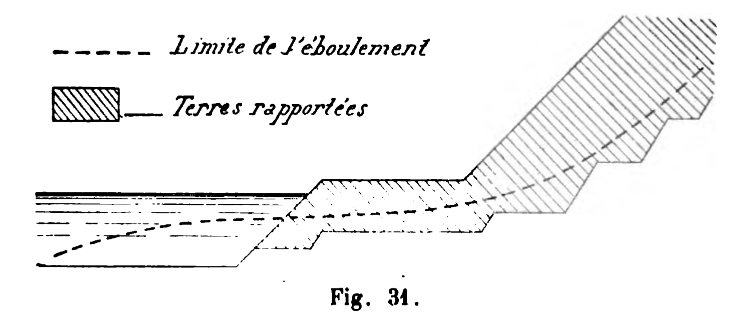


Fig. 31.

prend soin d'ailleurs de remplacer les terres éboulées ou de les remanier suffisamment pour qu'il ne reste autour de la cuvette aucune trace des fissures que produit habituellement un mou-

Digitized by Google

vement de ce genre. C'est ainsi que le long du coteau d'Avrilly, le canal de Roanne à Digoin a pu enfin recevoir une assiette solide sur des terrains qui étaient en mouvement depuis très longtemps et qui, en 1856, avaient bouleversé la cuvette.

118. Soins à prendre dans l'exécution des remblais. — Les remblais des canaux doivent être aussi compacts que possible dans leur ensemble et, par leur base, se souder bien exactement au sol naturel.

A ce point de vue, la première précaution à prendre est de décaper soigneusement le sol sur lequel un remblai doit être établi. Il va sans dire que les arbres ou les arbustes qui pouvaient s'y trouver auront été arrachés, sans en rien laisser. Si le sol est gazonné, il faut enlever le gazon ; s'il est à l'état de culture, il faut faire disparaître toute trace de végétation. Il est bon de multiplier les arrachements, et même d'ameublir par un labour la partie supérieure du sol naturel ainsi décapé, de manière que les premières couches de remblai puissent s'y souder plus intimement.

Si le sol présente une déclivité un peu sensible, il faut le dresser suivant une série de gradins horizontaux, ou mieux normaux à sa surface, pour prévenir tout glissement des premières terres mises en remblai (fig. 32).

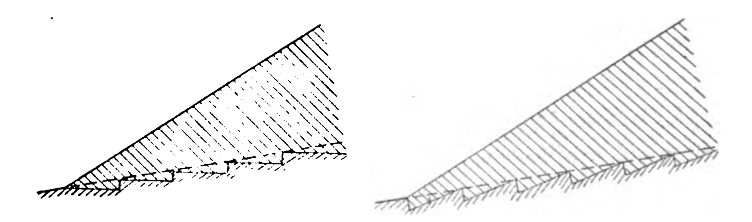


Fig. 32.

Les terres jetées à la pelle dans le profil ou roulées à la brouette, quand la distance l'exige, sont immédiatement émot-

Digitized by Google

tées, brisées et régalées par couches de 0 m. 15 à 0 m. 20 au plus. On les pilonne, soit avec des pilons échancrés, soit à l'aide de rouleaux cannelés, en les arrosant légèrement, dans la mesure nécessaire pour les rendre un peu cempressibles sans les détremper assez pour qu'elles deviennent glissantes.

Quand la distance à laquelle les transports s'effectuent dépasse celle que comporte l'emploi de la brouette, la meilleure solution consiste à se servir de tombereaux que l'on fait passer sur les remblais. Leurs roues, en y creusant de profondes ornières, font pénétrer les unes dans les autres les couches diverses de terre et opèrent ainsi une très bonne soudure.

Autrefois, l'emploi des tombereaux était le seul mode de transport autorisé et l'usage des wagons était absolument interdit. Mais cet usage s'est tellement généralisé, le matériel des entreprises s'est lui-même tellement transformé qu'on a dû se relâcher de cette sévérité.

Toutefois, l'emploi des wagons doit être réglementé de manière à en diminuer autant que possible les inconvénients. On ne doit se servir que de wagons ou de wagonnets de petites dimensions, répandre toujours les déblais par couches successives de faible épaisseur et éviter d'exécuter les remblais sur toute leur hauteur à la fois, ainsi que cela se pratique le plus souvent pour les chemins de fer ; il en résulterait des tassements et des pertes d'eau hors de proportion avec l'économie réalisée.

Cette réglementation, à laquelle il faut tenir sévèrement la main, nous paraît préférable à une prohibition absolue du transport au wagon qui, dans la pratique, est devenue trop difficilement réalisable.

Toutes ces précautions doivent être observées, principalement autour des ouvrages d'art, pour obtenir une bonne liaison des terres et des maçonneries, ainsi qu'aux points de passage de la cuvette du déblai au remblai, points où la séparation du terrain rapporté et du sol tend plus qu'ailleurs à se produire.

Digitized by Google

119. Précautions spéciales aux grands remblais. — Les grands remblais sont encore plus périlleux poûr les canaux que les grands déblais. On conçoit que, bien exécutés et assis sur un sol susceptible de les supporter, ils puissent ne pas subir les grands mouvements qui se produisent, par exemple, dans les tranchées argileuses ; mais, en revanche, que de temps ne mettent-ils pas à opérer un tassement assez complet pour devenir étanches ? Et pendant la durée de ces tassements, quelle ne sera pas la consommation d'eau d'une levée d'une certaine longueur ? Comment d'ailleurs l'étanchéité pourra-t-elle se réaliser, si d'abondantes filtrations entretiennent les fissures du remblai ? Il y a là un cercle vicieux dans lequel il est prudent de ne pas s'engager sans avoir réuni tous les éléments de succès.

Il faut d'abord que le terrain soit solide dans l'espace à remblayer, de façon que le poids des remblais ne l'écrase pas. Si le sol présente cette qualité, on la maintiendra en assurant avec le plus grand soin l'écoulement des eaux naturelles au travers des remblais futurs dans leur partie basse.

Il faut, en second lieu, des terres de bonne qualité pour faire les remblais, c'est-à-dire un mélange de sable et d'argile, dans lequel la proportion d'argile soit suffisante pour lier le sable et assez faible pour que la masse ne soit pas compressible.

Si l'on n'a pas de terre remplissant cette condition, il vaut encore mieux recourir à l'emploi de remblais perméables, mais solides, sauf à les étancher ultérieurement, que de se servir de remblais argileux sur une grande hauteur. Ces derniers sont à la fois les plus difficiles à étancher, parce que leur confection laisse presque inévitablement subsister des vides dans la masse, et les plus instables, parce qu'il se forme intérieurement des plans de glissement sur lesquels la moindre cause provoque des mouvements.

Enfin, si l'on n'a que des terres argileuses à sa disposition et qu'on soit forcé de s'en servir vaille que vaille, il importe

Digitized by Google

du moins d'en limiter l'emploi à des remblais de hauteur moyenne, et il faut multiplier les précautions. On rejettera en dehors des digues les terres qui, pendant l'exécution, seraient délavées ou détrempées par la pluie, on s'attachera à assurer l'écoulement des eaux, on adoucira au besoin les talus et surtout on augmentera la base en divisant la hauteur au moyen de banquettes. Le surcroît d'épaisseur donné à la digue en contrebas de ces banquettes constitue un contrefort et devient le meilleur préservatif contre les éboulements, surtout si on peut le former avec des matériaux plus stables et de meilleure qualité.

C'est ainsi qu'on a procédé par exemple sur la branche dite de Nancy, du canal de l'Est, ouverte dans les argiles du lias. Pendant la construction, l'une des digues faite avec des remblais argileux s'était affaissée. On en a soutenu le pied, après

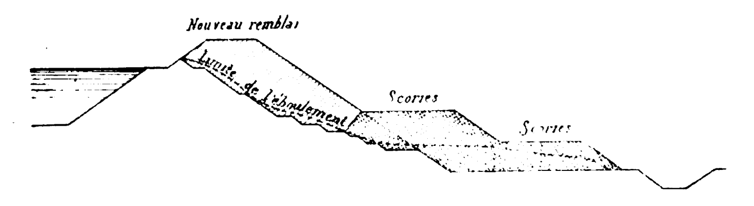


Fig. 33.

complet enlèvement des terres éboulées, au moyen de larges banquettes en scories de forges (fig. 33) ; on l'a rechargée, lentement, prudemment, en évitant toute stagnation d'eau à la surface des remblais et, en deux ou trois années, on est ainsi arrivé à reconstituer la digue suivant son profil normal ; depuis lors, elle s'est bien maintenue.

Enfin, il faut du temps devant soi pour laisser se produire les tassements que l'on ne peut éviter, quoi qu'on fasse, même avec des remblais de bonne qualité, et qui exigent plusieurs années pour être à peu près définitifs. En d'autres termes, *si dans la construction d'un canal on a de grands remblais à exécuter, c'est par eux qu'il faut commencer les*

Digitized by Google

travaux, en employant tous les moyens possibles pour les rendre stables et étanches.

Le moment critique est toujours celui de la mise en eau du canal, qui ne doit être opérée que d'une manière lente et progressive, car c'est surtout alors que se produisent les brèches et les éboulements dans des talus qui, avant cette épreuve décisive, paraissaient souvent offrir toute sécurité.

Sur toutes ces questions si délicates, l'un des meilleurs guides que l'on puisse consulter est assurément l'ouvrage de M. l'inspecteur général Graeff, intitulé : *Histoire critique des travaux exécutés dans les Vosges au chemin de fer de Paris à Strasbourg et au canal de la Marne au Rhin.*

§ 4

TRAVAUX D'ÉTANCHEMENT

120. Considérations générales. — Malgré tous les soins qui peuvent être pris lors de la construction d'un canal, on doit toujours s'attendre, les chiffres cités plus haut (page 259) en font foi, à des consommations d'eau considérables, surtout pendant les premières années d'exploitation. L'alimentation du canal présente alors les plus grandes difficultés, apporte une gêne sérieuse à la navigation, devient parfois même impossible.

En présence d'une pareille situation, on peut être tenté de chercher le remède dans un accroissement des ressources alimentaires et, à cet effet, d'augmenter les emprunts faits aux cours d'eau naturels, de multiplier les réservoirs, etc... Cette solution, alors même qu'elle ne serait pas impossible, aurait généralement l'inconvénient de léser des droits acquis et de troubler le régime hydraulique de tout un pays, par conséquent, de provoquer de nombreuses réclamations et des demandes d'indemnités considérables. Elle n'atténuerait d'ail-

Digitized by Google

leurs pas la gêne qu'impose à la navigation l'existence du courant prononcé qui résulte d'une alimentation très abondante.

Il est bien préférable, et nous considérons que c'est un devoir strict pour les ingénieurs, de réduire d'abord les besoins de l'alimentation à leur minimum et, à cet effet, de diminuer autant que possible les déperditions dans le sol, qui en forment l'élément capital. Tel est le but des travaux d'étanchement, et l'on doit penser qu'ils sont appelés à jouer, parmi les améliorations qu'exige la navigation intérieure, un rôle dont l'importance ira en croissant, à mesure que les eaux deviendront plus rares ou que l'augmentation du mouillage exigera une alimentation plus abondante.

Les déperditions par le sol sont de deux sortes, les unes locales et apparentes, les autres générales et le plus souvent non apparentes. Dans le premier cas, on est en présence de fissures qu'il s'agit de fermer ; dans le second, c'est l'absorption dans un terrain perméable qu'il faut empêcher. De là deux catégories d'ouvrages bien distincts.

121. Fuites locales et apparentes. — Dans certains cas, la fissure qu'il s'agit de fermer a un orifice visible dans les parois de la cuvette. Alors, si on peut mettre à sec le bief intéressé, on dégage cet orifice en pratiquant une fouille assez large et assez profonde pour mettre à nu le terrain solide, et on la remplit ensuite ou de maçonnerie, ou de béton, ou de bonne terre corroyée. Il est essentiel que cette réparation s'étende sur une surface assez grande pour que les eaux ne puissent pas reprendre leur passage en se creusant un conduit latéral.

Même quand on est obligé de laisser le bief en eau, l'orifice de la fissure est quelquefois exactement dénoncé par l'appel d'eau qui se fait à la surface ; on peut alors obtenir de bons résultats en y jetant du gravier et du sable que la pression de l'eau entraîne. Ces matériaux s'arrêtent dans les sinuosités de la fissure et l'obstruent en partie ; du sable plus fin que l'on

Digitized by Google

y jette ensuite vient encore réduire les vides : l'argile que l'eau tient en suspension et les dépôts de toute sorte qu'elle forme avec le temps achèvent de rendre la fermeture complète. C'est, en somme, exactement le procédé que nous avons préconisé ailleurs[1] pour obtenir l'étanchement d'un rideau d'aiguilles dans un barrage.

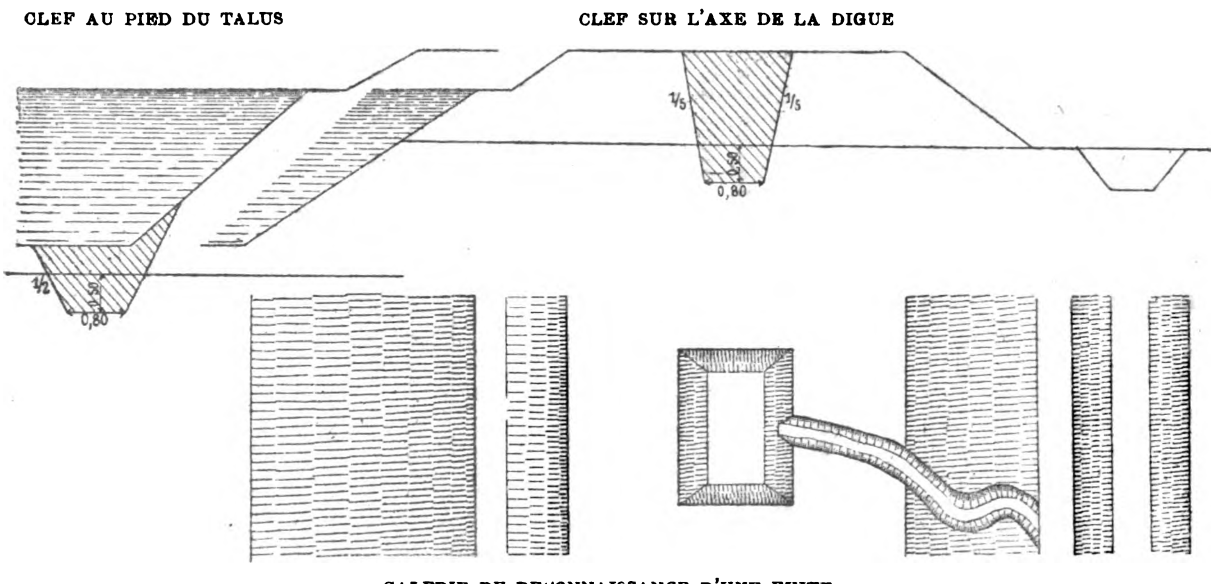
Mais il se peut aussi que la fuite, le *renard*, ne se manifeste que sur le talus extérieur de la digue du canal ; alors, on cherche à recouper la fissure au moyen d'une tranchée qui est généralement ouverte sur l'axe de la digue et que l'on remplit ensuite, comme nous avons dit plus haut, d'une matière imperméable formant *clef* ou *ancrage*. Seulement, l'emplacement de la tranchée n'est pas toujours facile à déterminer ; les fuites ne traversent pas toujours la digue normalement ; leur biais est parfois considérable et leur parcours sinueux. Dans certains cas on est obligé de remonter la fuite à partir de son point de sortie jusqu'à l'axe de la digue, en ouvrant une galerie de reconnaissance aussi étroite que possible qui suit toutes ses sinuosités (pl. LXIV, page 286).

Lorsque les fuites se manifestent avec une certaine continuité dans une digue formée de remblais compressibles, on peut obtenir d'excellents résultats par le procédé suivant, à la condition que le travail soit à effectuer sur une longueur assez considérable pour permettre l'organisation rationnelle et économique du chantier.

Dans l'axe de la digue, de mètre en mètre, on bat des pieux que l'on descend jusque dans le terrain solide et que l'on arrache ensuite. Le vide formé à l'emplacement de chaque pieu est alors rempli de terre argileuse que l'on y tasse fortement, ce qui est facile au moyen d'un pieu et de la sonnette. On introduit ainsi dans la digue autant d'éléments étanches dans l'intervalle desquels les remblais deviennent eux-mêmes plus imperméables par suite de la compression. Si avec des

1. *Rivières canalisées*, page 61.

Digitized by Google



Pl. LXIV. FERMETURE DES FUITES LOCALES ET APPARENTES

Digitized by Google

pieux espacés de 1 mètre le résultat obtenu n'est pas entièrement satisfaisant, on renouvelle l'opération en battant un nouveau pieu entre deux. On gradue ainsi les moyens d'action jusqu'à succès complet.

122. Fuites à la jonction des remblais et du sol naturel. — Ces fuites, qui se manifestent au pied des talus des digues en remblai, sont très fréquentes ; elles proviennent, soit d'une jonction imparfaite des remblais avec le terrain naturel, soit de la porosité et du peu de consistance de la couche superficielle de ce terrain, couche qui a été sillonnée pendant de longues années par les racines et par les vers de terre.

Si ces fuites sont continues ou seulement assez rapprochées sur une longueur importante de canal, on peut leur appliquer les procédés que nous examinerons plus loin en parlant des filtrations générales. Si, au contraire, elles sont isolées, on les traite comme les fuites locales, en les recoupant par une clef en terre corroyée ancrée jusqu'au solide dans le terrain naturel. Suivant la position relative du plafond et du sol naturel et suivant qu'on a ou non la possibilité de mettre le bief à sec, ces ouvrages se font soit au pied du talus de la cuvette, soit sur l'axe de la digue (pl. LXIV).

En résumé, aux fuites locales et apparentes on applique, dans chaque cas particulier, le traitement qui paraît le plus avantageux suivant les circonstances de l'espèce ; il n'est pas possible de poser des règles générales, susceptibles d'être appliquées dans tous les cas à des déperditions dont les causes peuvent être très différentes.

123. Filtrations générales. — Les filtrations générales résultent de la perméabilité des terres dans lesquelles la cuvette est ouverte. Elles se manifestent principalement, au déblai, dans les terrains de gravier et dans certaines roches fissurées ; ces dernières peuvent laisser passer l'eau en quan-

Digitized by Google

tité indéfinie. Elles se manifestent aussi dans les remblais, surtout si ces derniers sont formés de déblais n'ayant pas les qualités requises ou n'ont pas été exécutés avec les précautions voulues.

Deux cas sont à distinguer. Le canal peut être à un niveau assez élevé pour n'avoir aucune sous-pression à redouter. Les filtrations se produisent toujours du dedans au dehors de la cuvette. Il se peut, au contraire, que le canal soit assez bas

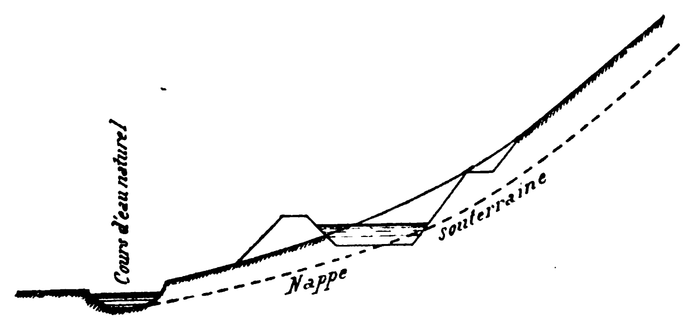


Fig. 34.

pour qu'au moment des inondations les eaux du cours d'eau latéral tendent, en vertu de la perméabilité du sol, à entrer dans la cuvette, pour qu'il y ait sous-pression. Ces sous-pressions peuvent encore se produire, indépendamment des crues, sous l'influence de la nappe souterraine des eaux qui s'écoulent du coteau à la rivière (fig. 34). Quelle que soit la cause des sous-pressions, du moment qu'elles peuvent se produire, on a à se défendre contre les infiltrations du dehors au dedans aussi bien que contre celles du dedans au dehors et il en résulte une sujétion beaucoup plus grande.

124. Étanchement à l'eau trouble — Ce procédé, qui ne peut s'appliquer que là où il n'y a pas de sous-pressions à craindre, a pour objet de reproduire artificiellement ce qui s'opère naturellement dans les biefs légèrement perméables abandonnés à eux-mêmes. Là, en effet, et surtout dans les

Digitized by Google

parties de canal les plus voisines de leur point d'introduction, les eaux d'alimentation tapissent la cuvette de dépôts vaseux qui s'introduisent dans les interstices du sol et les ferment. C'est ce colmatage d'où résulte l'étanchéité, que l'on a cherché à obtenir artificiellement.

Les étanchements à l'eau trouble se font en jetant sur les talus et sur le plafond du sable amené en bateau ; on trouble ensuite l'eau en mettant le sable en suspension à l'aide d'une sorte de herse en bois traînée par des chevaux qui cheminent sur les banquettes de halage.

Le choix du sable n'est pas indifférent : quand il est maigre, il ne trouble pas l'eau ; quand il est trop gras, il colle et n'entre pas dans les vides. Ce choix est donc une affaire de tact et d'expérience ; il est subordonné, dans une large mesure, à la nature des terrains à étancher. Mais, en général, les sables fins, légèrement argileux, sont ceux qui paraissent le mieux convenir.

Sur le canal Louis, en Bavière, dans des terrains de sable pur et fin, M. le chevalier de Pechmann s'était servi avec succès d'argile ; mais il tirait de son essai heureux une conséquence trop absolue, lorsqu'il assurait, dans un article inséré aux *Annales des ponts et chaussées* de 1841, qu'il n'est pas de canal qu'on ne parviendrait à étancher par ce moyen.

Il faut, en effet, que les vides à fermer soient très étroits, si l'on veut que l'argile et même le sable fin puissent s'y arrêter ; s'ils sont au contraire larges, l'eau sort aussi trouble qu'elle est entrée et aucun dépôt ne s'y fait.

C'est ainsi que, sur le canal du Rhône au Rhin, dans des parties où la cuvette est placée dans des couches de gros gravier, ce procédé a complètement échoué.

Sur le canal de la Marne au Rhin et le canal de l'Est, il a été employé avec plus de succès. On a réussi quelquefois en troublant l'eau au moyen de terres argileuses, mais toujours mieux et plus sûrement avec le sable fin légèrement argileux. Cela se comprend du reste aisément, si l'on remarque que

Digitized by Google

les grains de sable se précipitent avant les troubles légers tenus en suspension dans l'eau et forment ainsi un premier lit d'étanchement sur lequel l'effet du dépôt des troubles se fait dans les meilleures conditions. La préférence à attribuer à ces sables paraît donc aujourd'hui consacrée par l'expérience [1].

L'application de ce procédé exige que l'on ait assez d'eau à sa disposition pour en maintenir au moins 1 mètre dans le canal. Sans la pression qui résulte de cette hauteur d'eau, l'entraînement des matières est insuffisant et l'étanchement n'a pas lieu.

Il est bon, en outre, qu'on ne soit pas obligé de mettre trop souvent le canal à sec, car toutes les fois que la dessication des dépôts s'opère, l'argile prend du retrait et se fendille, ouvrant ainsi aux eaux un nouveau passage, plus aisé à refermer que le premier il est vrai, mais qui n'en augmente pas moins la durée des chômages.

Comme nous le disions au commencement de cet article, le procédé n'est applicable que là où il ne peut y avoir de sous-pressions. Le premier effet des sous-pressions serait en effet de détruire l'étanchement réalisé. Dans les cas où on peut l'utiliser, il est très économique et ne représente guère qu'une dépense de 4 à 5 francs par mètre courant, pour produire une étanchéité moyenne.

125. Corrois en terre. — Ce procédé consiste essentiellement à appliquer sur les parois de la cuvette une couche suffisamment épaisse de terre dont la qualité est choisie et dont la mise en œuvre est soignée de manière à former un revêtement imperméable.

En ce qui concerne la mise en œuvre, la formation du *corroi*, le *corroyage*, la terre, soigneusement émottée et débarrassée de tout corps étranger, est régalée par couches

1. Ailleurs on a employé avec avantage la sciure de bois mise en suspension dans l'eau.

Digitized by Google

minces successivement soumises à une compression énergique. Cette compression qui réduit considérablement leur épaisseur, qui les soude intimement et même les fait pénétrer les unes dans les autres, peut être obtenue par le pilonnage à la main ou par l'emploi de cylindres corroyeurs à traction de chevaux ou même à traction mécanique. Ces derniers engins donnent, à moins de frais, un résultat bien plus satisfaisant que le pilonnage à la main.

En ce qui concerne la qualité des terres à employer, il faut tout d'abord proscrire l'argile pure. Elle éprouve des retraits considérables et des gerçures lorsqu'elle se dessèche au cours d'un chômage; elle laisse ensuite passer l'eau lorsqu'on remet celle-ci dans le canal. En outre l'argile pure se délave au contact prolongé de l'eau. La meilleure terre à corroi est formée de sable et d'argile, celle-ci en proportion juste suffisante pour remplir les vides de celui-là, c'est-à-dire de 3 à 4 de sable pour 2 d'argile. Lorsque cette composition ne se rencontre pas naturellement, on peut l'obtenir par des mélanges. Souvent aussi on ajoute de la chaux, dans la proportion de $\frac{1}{200}$ à $\frac{1}{100}$, en poudre si les terres sont humides, en lait si elles sont sèches ; mais l'utilité de cette pratique est matière à discussion.

126. Applications sur le canal de la Marne à la Saône. — Nous empruntons à un mémoire de M. l'ingénieur en chef Gustave Cadart [1] les détails ci-après relatifs à deux applications de ce mode d'étanchement faites au canal de la Marne à la Saône, entre Rolampont et le bief de partage, c'est-à-dire dans la partie supérieure du versant de la Marne, dans des conditions qui nous paraissent particulièrement intéressantes.

Bief de Humes. — Sur la longueur de 317 m. 50 à l'amont de l'écluse de Humes, la cuvette du canal est ouverte dans des

1. *Annales des ponts et chaussées,* 1898, 3e trimestre.

Digitized by Google

remblais dont la masse avait été formée par les pierres du calcaire noduleux provenant de la tranchée voisine, simplement versées au wagon.

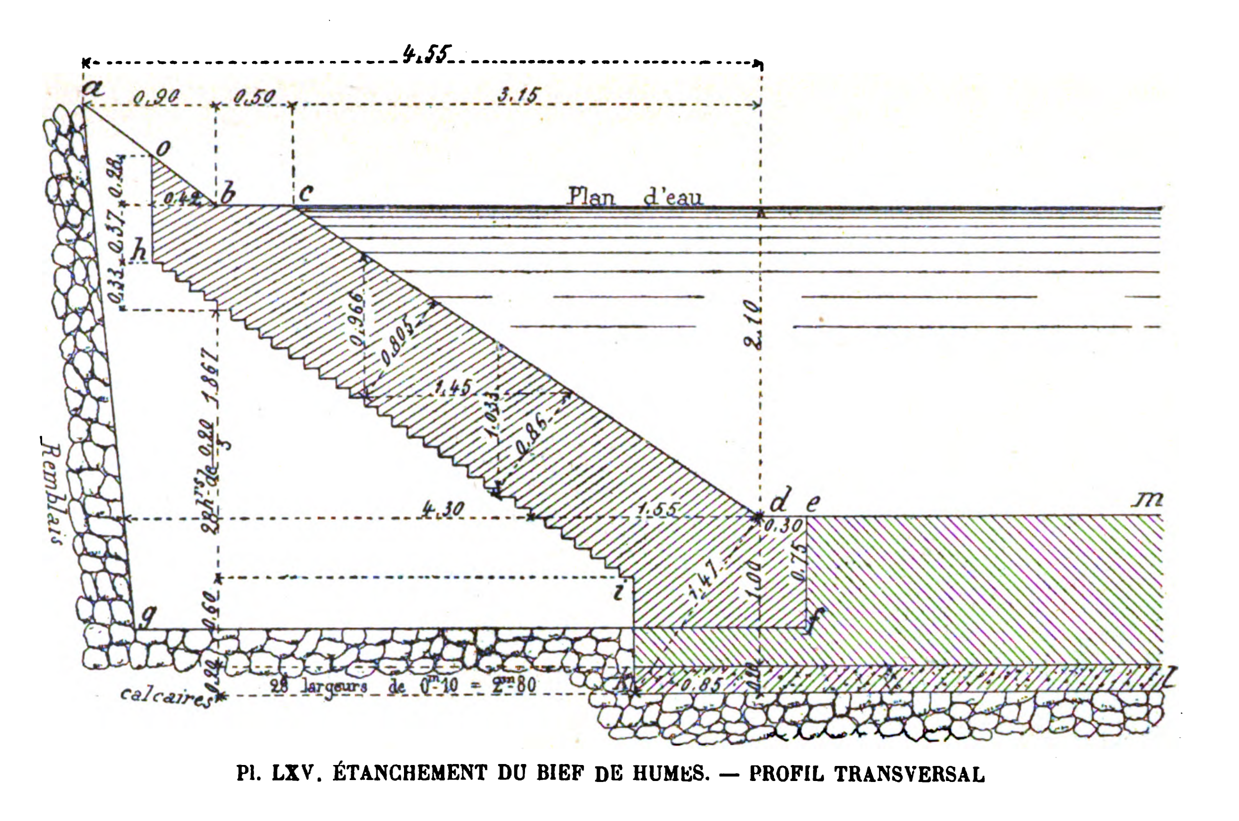
A l'aplomb des talus, le remblai avait été exécuté en bonne terre. Le massif de bonne terre *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g* (pl. LXV) descendait à 0 m. 75 en contre-bas du plafond ; il mesurait 4 m. 30 de largeur au niveau du plafond et 1 m. 30 environ au niveau du plan d'eau. En outre le plafond en remblai pierreux avait été revêtu de bonne terre sur une épaisseur de 0 m. 40 environ.

Cette dernière épaisseur était très insuffisante, eu égard surtout aux vides énormes du remblai sous-jacent, à travers lesquels les terres pouvaient être si facilement entraînées. Dès le premier essai de mise en eau, de vastes entonnoirs se creusèrent dans le plafond ; le mince revêtement en terre fut bientôt perforé de toutes parts ; les eaux passèrent au-dessous des massifs latéraux de bonne terre et sortirent au pied des talus extérieurs des remblais avec une telle abondance qu'il fut impossible de remplir le bief. L'augmentation de l'alimentation ne faisait d'ailleurs que transformer le bief en une véritable rivière, qu'agrandir de plus en plus les entonnoirs et les renards qui y faisaient suite et qu'entraîner le mince revêtement en terre du plafond qui disparut bien vite dans les vides du remblai pierreux.

Le travail d'étanchement a consisté à ouvrir une fouille suivant *o*, *h*, *i*, *k*, *l*, *m*, *d*, *c*, *b*, *o*, à établir sur le plafond *kl* de cette fouille un couche filtrante de 0 m. 20 d'épaisseur et à remplir le surplus de la dite fouille par un corroi en bonne terre exécuté au rouleau, dont l'épaisseur était ainsi de 1 mètre sous le plafond et de 0 m. 80 au moins sous les talus, les angles des talus et du plafond étant d'ailleurs considérablement renforcés.

Le rôle de la couche filtrante consiste à assurer la conservation indéfinie du corroi en opposant un obstacle infranchissable à l'entraînement par les eaux de filtration des particules

Digitized by Google



Pl. LXV. ÉTANCHEMENT DU BIEF DE HUMES. — PROFIL TRANSVERSAL

Digitized by Google

de terre délayées et mises en suspension pendant le passage de ces eaux à travers le corroi. Cette couche a été exécutée comme une véritable chaussée d'empierrement. On a commencé par régaler, en cassant sur place les pierres saillantes, et par cylindrer le fond de la fouille *kl*. Trois couches de matériaux représentant ensemble une hauteur de 0 m. 30 ont été successivement répandues et cylindrées de manière à réduire leur épaisseur totale à 0 m. 20. Cette partie du travail a pu, d'ailleurs, être exécutée à très bon compte, tous les matériaux employés provenant du remblai pierreux lui-même.

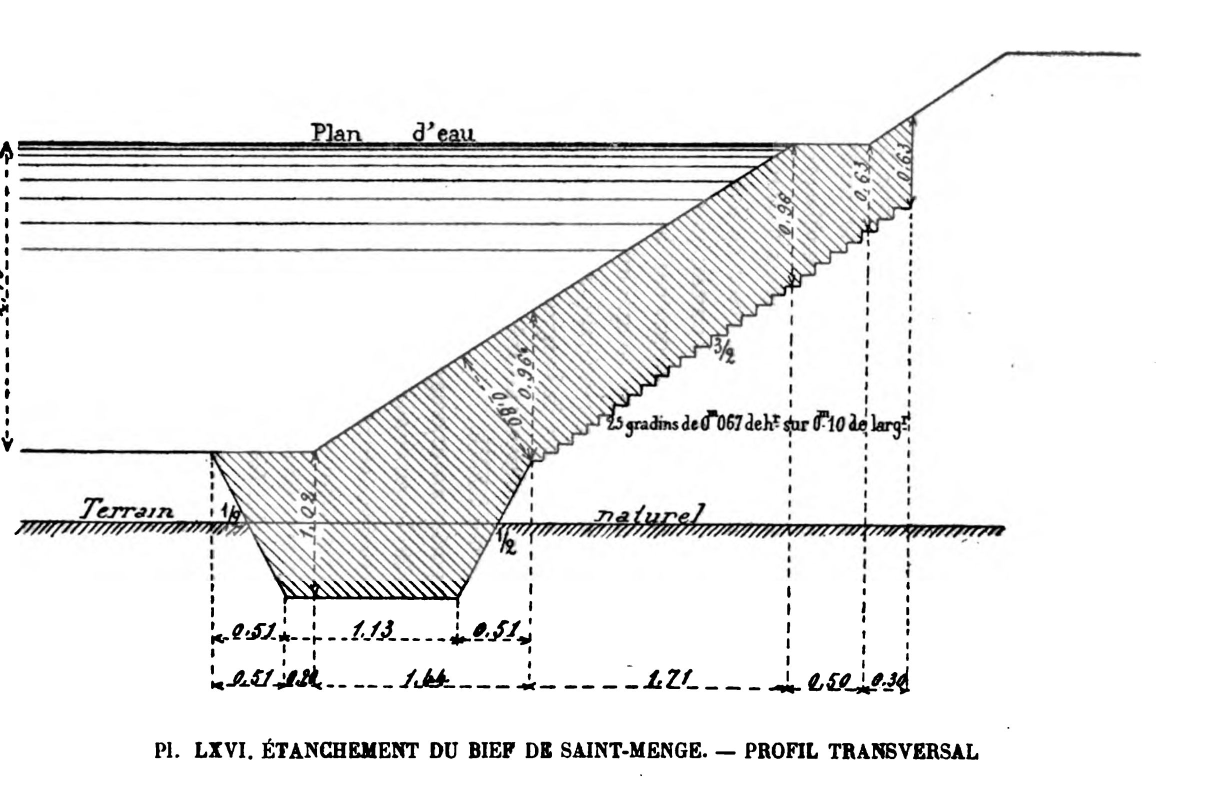
Les corrois ont été faits, partie avec les déblais de bonne terre provenant de la fouille des talus et partie avec des terres empruntées dans une prairie voisine. Le corroyage a été exécuté par couches de 0 m. 10 d'épaisseur, que le roulage réduisait à 0 m. 067, avec addition de chaux en poudre ; il a été fait entièrement au rouleau, sauf aux deux abouts du chantier où force a été d'employer le damage à la main avec pilons en fonte.

Le rouleau employé était formé de disques en fonte montés sur deux essieux parallèles, les disques d'avant pénétrant dans les vides laissés par ceux d'arrière. Son poids était de 600 kilogrammes à vide et de 1.600 à charge complète. Sa faible largeur a permis de l'employer pour le corroyage des talus jusqu'au niveau de flottaison, où la largeur de la piste se réduisait cependant à 0 m. 92. On peut d'ailleurs juger de la perfection du corroyage par ce fait que, pour produire 1 mètre cube de corroi, il a fallu 1 m. 10 de terre mesurée à la fouille. La terre est donc plus serrée dans les corrois exécutés qu'à l'état naturel dans le sol vierge.

Le prix de revient du mètre cube de corroi a été de 2 fr. 45 avec les terres provenant de la fouille réemployées et de 4 fr. 55 avec les terres provenant d'emprunt, soit, en moyenne, de 3 fr. 50.

Les travaux exécutés en 1889 ont eu un succès complet. Le

Digitized by Google



Pl. LXVI. ÉTANCHEMENT DU BIEF DE SAINT-MENGE. — PROFIL TRANSVERSAL

Digitized by Google

bief de Humes, qui ne pouvait être rempli auparavant, ne perdait plus que 1 m. c. 11 par mètre courant et par vingt-quatre heures après l'exécution des travaux, et cette perte provenait presque exclusivement des parties du bief autres que celle où le corroyage avait été exécuté.

Bief de Saint-Menge. — Les digues du bief de Saint-Menge, sur une longueur de près de 1 kilomètre à partir de l'écluse du même nom, sont composées en grande partie de remblais marneux revêtus de bonne terre sur leur paroi interne. En un grand nombre de points, le revêtement en bonne terre, soit que son épaisseur fût insuffisante, soit plus généralement que la terre n'eût pas été suffisamment expurgée des pierrailles, s'était laissé traverser et des fuites nombreuses s'étaient produites. Dans les parties où ces fuites, dont on ne pouvait repérer la position que sur le parement extérieur des digues, étaient sur une longueur notable assez voisines les unes des autres, on a exécuté, sur le parement intérieur de la digue et sur toute la longueur correspondant aux fuites, un corroi au rouleau suivant le profil moyen représenté dans la planche LXVI.

Ce profil comporte un ancrage du corroi dans le terrain naturel sur 0 m. 50 de profondeur. L'ancrage a été reconnu absolument nécessaire, en raison de la porosité et du peu de consistance de la couche superficielle de ce terrain, couche qui, presque toujours, était le siège des principales fuites. La largeur au fond de la fouille d'ancrage a été prise égale à 1 m. 13, largeur minima qui permette le passage, en tranchée, du rouleau compresseur du service.

Les corrois ont été exécutés de la même manière que ceux du bief de Humes, avec quelques différences cependant : la saison étant plus humide, au moment de l'exécution, l'arrosage a été beaucoup moins important ; on a renoncé au répandage de la chaux en poudre, ou plutôt, il n'a été appliqué que très exceptionnellement ; les corrois ont pu être faits presque entièrement avec les terres provenant de la

Digitized by Google

fouille, préalablement expurgées de toutes pierrailles et convenablement émottées ; les quelques emprunts nécessaires ont pu être réalisés dans les emprises du canal, c'est-à-dire sans indemnité. Les conditions économiques ont donc été beaucoup plus avantageuses qu'au bief de Humes.

Le prix de revient du mètre cube de corroi a été pour ceux exécutés au rouleau de 1 fr. 99 et pour ceux exécutés à la main de 2 fr. 40. Les premiers ayant été faits en 1890 et les seconds en 1891, certaines dépenses accessoires ont pu varier d'une année à l'autre, mais si on limite la comparaison aux dépenses pour émottage et compression qui sont caractéristiques des deux systèmes, on trouve qu'elles ont été de 0 fr. 48 par mètre cube dans un cas et de 0 fr. 73 dans l'autre.

127. Corrois en craie. — Dans certaines circonstances, on a pu se servir, pour étancher la cuvette, des terres très perméables dans lesquelles elle était ouverte, après leur avoir fait subir un traitement approprié. C'est ainsi qu'au canal de l'Aisne à la Marne, ouvert dans un terrain crayeux des plus perméables, on a étanché quelques biefs au moyen de cette craie même. Voici comment le travail était organisé.

Le bief à étancher était divisé en sections de 100 mètres de longueur. Dans la première section de 100 mètres, le plafond et les talus étaient décapés sur 0 m. 40 de profondeur ; les déblais étaient transportés à l'autre extrémité du bief et déposés sur les digues ; puis on prenait les produits du décapage des 100 mètres suivants pour les rapporter dans la fouille précédente par couches successives de 0 m. 08 d'épaisseur.

La craie formant chacune de ces couches était découpée et brisée avec la bêche et ensuite pilonnée jusqu'à ce que son épaisseur fût réduite à 0 m. 05. Après ce tassement, on arrosait abondamment et on formait une seconde couche commencée comme la première du côté où se faisait le déblai, de manière que les brouettes passaient sur les parties faites de la couche en cours d'exécution. Dans les talus, les fouilles étaient

Digitized by Google

exécutées par gradins, analogues à ceux qui sont figurés dans les planches LXV et LXVI.

Ce procédé fut appliqué à une partie de canal de 24 à 25 kilomètres de longueur. Les pertes, qui étaient primitivement de 27.000 mètres cubes par kilomètre et par 24 heures, étaient réduites, quatre ans après, à 700 ou 800 mètres cubes. Sur un autre point, les déperditions passèrent de 2.400 mètres cubes à 350, de telle sorte qu'on put considérer l'étanchéité comme obtenue.

Toutefois, ces heureux résultats ne se maintinrent pas entièrement. Il est possible qu'avec le temps la craie pilonnée ait perdu la cohésion que lui avait donnée le battage. Certainement, dans les parties supérieures, sous l'action du froid et de la pluie, le corroi crayeux a dû se boursoufler et se disloquer. En somme, bien que ne rappelant en rien la perméabilité primitive, les déperditions demeurèrent telles qu'il devint nécessaire de substituer la maçonnerie à ce revêtement trop impressionnable, sur lequel on ne pouvait compter que d'une manière relative. Le remède a donc eu une certaine efficacité, mais il n'a pas été définitif.

128. Durée des revêtements corroyés. — Le même fait a été constaté sur nombre d'autres canaux, sur le canal de la Marne au Rhin notamment. A la vérité, il s'agissait là de revêtements dont l'épaisseur ne dépassait pas 0 m. 30 à 0 m. 40, corroyés à la main. On peut espérer que les revêtements du canal de la Marne à la Saône, d'épaisseur plus que double et corroyés au rouleau d'une façon plus parfaite, résisteront mieux ; mais ils n'échappent pas au reproche qu'ôn peut faire à toutes les applications du système. Tous ces revêtements corroyés ont, en effet, le grave défaut de rester exposés, sans protection aucune, au maximum d'effet de toutes les causes de destruction : contact direct et batillage de l'eau ; action immédiate des intempéries, alternatives d'humidité et de sécheresse, de gel et de degel, au moins aux envi-

Digitized by Google

rons de la ligne d'eau ; chocs et frottement des bateaux ; coups des gaffes et des autres engins dont se servent les mariniers, etc.

129. Emploi de la maçonnerie. — C'est en définitive à la maçonnerie qu'on a surtout recours pour l'exécution des travaux d'étanchement des canaux. Si la cuvette est ouverte dans une roche de bonne qualité, compacte, où les fissures sont rares, il pourra suffire de quelques jointoiements ou de quelques rocaillages pour supprimer les fuites. Si, au contraire, la roche est de qualité médiocre, criblée de fissures, un revêtement général peut devenir nécessaire.

Dans le bief de partage du canal de Saint-Quentin, par exemple, la cuvette est comprise entre deux murs en maçonnerie de briques avec parements inclinés à 1/10, tandis que sur toute la largeur du plafond s'étend un pavage en briques à plat sur une couche de béton de 0 m. 09 d'épaisseur. L'épaisseur totale est de 0 m. 15 ; le prix de revient de 4 fr. environ le mètre carré.

Mais le mode d'emploi de la maçonnerie le plus usité consiste dans l'application sur tout le pourtour de la cuvette d'une chemise continue de béton hydraulique.

C'est de 1849 à 1851, dans la partie du canal de la Marne au Rhin qui dépend du bief de partage de Mauvages, que M. Malézieux a exécuté ses travaux de bétonnage devenus classiques ; et, du premier coup, il a porté la méthode à un degré de perfection tel qu'on n'y a apporté depuis que des modifications ou des additions bien légères. On en jugera par la suite de ce chapitre.

130. Bétonnages du canal de la Marne au Rhin. — La planche LXVII (page 301) est extraite du mémoire même de M. Malézieux [1] ; elle montre que la chemise en béton se relève le long des talus jusqu'à 0 m. 20 au-dessus du plan d'eau.

1. *Annales des ponts et chaussées*, 1856, 1er semestre.

Digitized by Google

Son épaisseur est de 0 m. 15 au plafond ainsi qu'à la base des talus et se réduit progressivement à 0 m. 10 à la partie supérieure ; elle se trouve d'ailleurs augmentée au pied des talus, le raccordement se faisant au moyen d'un solin. Cette chemise ne forme pas la paroi de la cuvette ; elle est revêtue d'une couche de terre de 0 m. 30 à 0 m. 40 d'épaisseur. Pour maintenir cette épaisseur au droit de la banquette de flottaison, le talus du béton présente une inclinaison un peu plus douce que celle du talus de la cuvette.

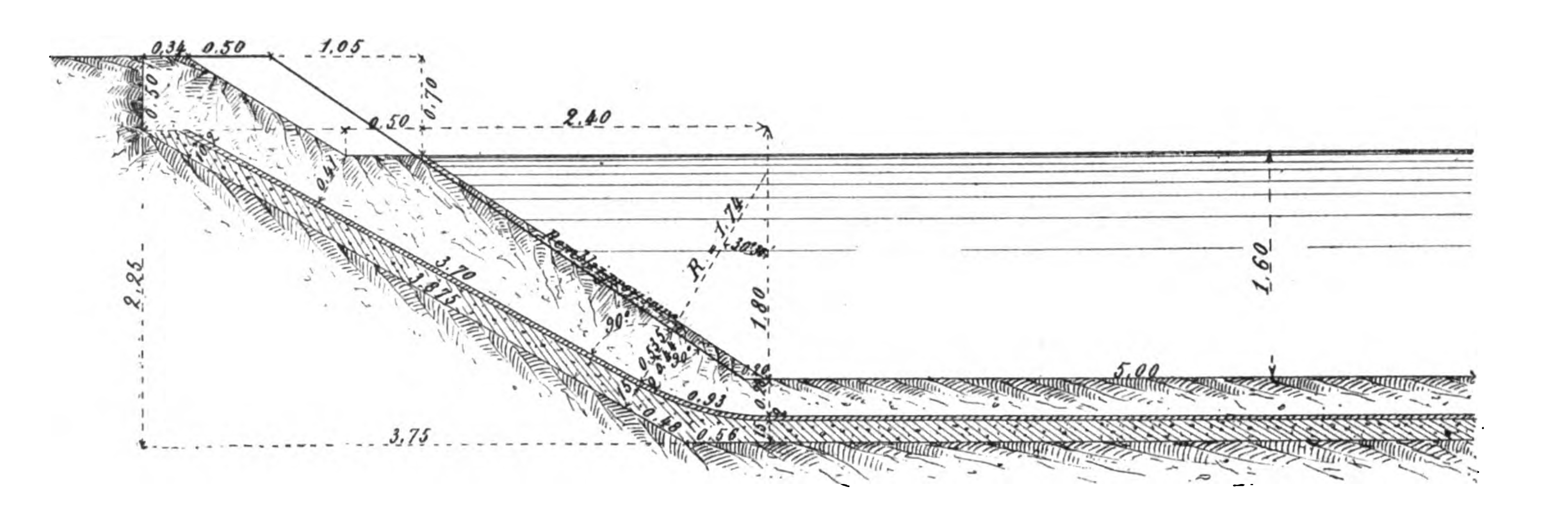
Le béton est recouvert à sa face supérieure par une chape générale en mortier de 0 m. 02 d'épaisseur.

En ce qui concerne l'exécution, qui ne laissait pas de présenter d'assez grandes difficultés, les règles suivies peuvent se résumer comme il suit.

La fouille a été conduite avec le plus grand soin, aux dimensions voulues pour que la couche de béton soit assise sur un sol bien nettoyé de toutes les parties meubles qui empêcheraient l'adhérence et rendu aussi dur et aussi résistant que possible. Les terres les plus fines et les plus douces ont été réservées pour en former la première couche du revêtement ; il faut, en effet, éviter le contact des pierres et de la chape en mortier.

Le béton est amené sur le plafond et régalé horizontalement avec un léger excédent d'épaisseur. On le pilonne alors énergiquement jusqu'à ce qu'il devienne bien compact et que le mortier qu'il renferme reflue à la surface. Pour l'appliquer sur les talus, on le dépose d'abord sur une aire en planches étendues sur le plafond et on le lance à la pelle sur les plans inclinés pour y former une succession d'assises de 0 m. 20 d'épaisseur au plus, qui sont pilonnées verticalement avec des dames rondes et perpendiculairement à la surface avec des dames plates, jusqu'à ce que chaque partie soit bien unie à celle qui la précède et convenablement ramollie. On augmente un peu l'épaisseur du béton à l'angle de jonction du plafond et des talus.

Digitized by Google



Pl. LXVII. BÉTONNAGES DU CANAL DE LA MARNE AU RHIN. — SECTION TRANSVERSALE

Digitized by Google

Immédiatement après avoir été pilonné, le béton doit être battu avec une savate légère pesant 4 kilogrammes environ, formée de deux cuirs garnis de gros clous analogues aux clous de souliers (fig. 35). Quand le béton a acquis un peu de consistance, on le bat avec une savate plus lourde, pesant au moins 10 kilogrammes, formée de quatre cuirs superposés et armée de la même manière. Il faut qu'on n'aperçoive plus une seule pierre à la surface du béton.

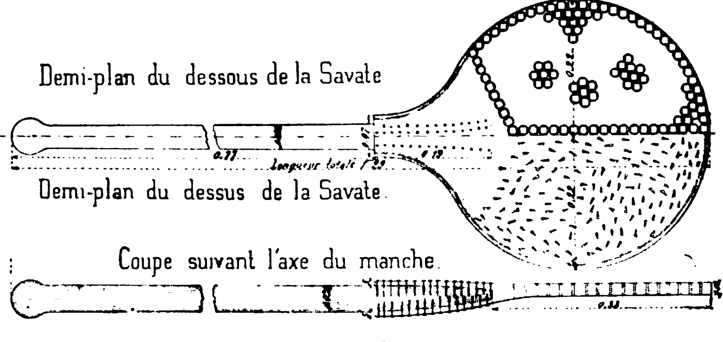


Fig. 35.

Vingt-quatre heures au moins après cette dernière opération, on nettoie et on arrose le béton, on le gratte même au vif, s'il commence à durcir, et on pose la chape avec la truelle, en fouettant le mortier sur le béton, de manière à ce que l'adhérence soit intime. On la lisse en lui donnant une épaisseur de 0 m. 020 à 0 m. 025 et, le lendemain de la pose, quand elle commence à durcir et à se fendre, on la dame avec une dame légère, en ayant soin de ne pas frapper sur les fentes elles-mêmes, avant d'en avoir rapproché les lèvres par un damage sur le mortier voisin pour fermer, tout d'abord, le fond de la fissure. Un battage à la savate légère complète la liaison de la chape et assure son homogénéité.

Si plus tard quelques gerçures viennent à se manifester, on les ferme à la truelle ; et, dès que la prise est faite, on remblaie avec les terres approvisionnées dans ce but.

Il faut apporter des soins particuliers à la reprise des cou-

Digitized by Google

ches exécutées dans des journées différentes, pour que la soudure soit meilleure. A chaque arrêt du chantier, on termine la couche interrompue en biseau, et on rend l'interruption aussi faible que possible en longueur, en faisant marcher de front les talus et le plafond. On veille d'ailleurs à ce que les reprises de la chape ne coïncident jamais avec celles du béton ; elles doivent se découper de 0 m. 20 au minimum.

Ainsi que nous l'avons dit plus haut, c'est de 1849 à 1851 qu'une première application de ce système a été faite sur une grande échelle par M. Malézieux, dans la partie du canal de la Marne au Rhin qui dépend du bief de Mauvages. La dépense s'est élevée, en total, au chiffre de 1.900.000 francs, ce qui correspond à environ 65 francs par mètre courant et 3 fr. 40 par mètre carré [1]. En exécutant ces bétonnages, on a évité une dérivation de la Meuse estimée 600.000 francs, la création de réservoirs évalués à 2.600.000 francs et d'ailleurs reconnus ultérieurement inexécutables, enfin le payement de 1.200.000 francs au moins d'indemnités aux propriétaires des usines que devaient atteindre les nouveaux emprunts à faire aux cours d'eau. Il y a donc eu économie considérable et la navigation a été assurée dans de bonnes conditions tandis que l'industrie conservait la libre disposition de ses forces motrices.

181. Bétonnages du canal de la Marne à la Saône. — Plus de quarante ans après l'exécution des travaux décrits dans l'article précédent, de 1886 à 1897, des bétonnages très importants (la surface totale bétonnée s'est élevée à 244.992 mètres carrés) ont été faits sur le canal de la Marne à la Saône, entre Rouvroy et Chaumont, c'est-à-dire dans la partie infé-

1. Le développement de la chemise en béton est, d'après les cotes de la planche LXVII, égal à 2 (5,00 + 0,93 + 3.70) = 19 m. 26 ;

$$\frac{65,00}{19,26} = 3,375, \text{ soit 3 fr. 40.}$$

Digitized by Google

rieure du versant de la Marne[1]. La figure 36 montre un profil d'exécution qui se rapproche singulièrement de celui de M. Malézieux. Si on fait abstraction, comme de juste, du système de piquets et de planches dont le seul but est de défendre la risberme ménagée au niveau du plan d'eau, on ne peut guère constater d'autres différences que les suivantes : la chemise s'élève à 0 m. 30 (au lieu de 0 m. 20) au-dessus du plan d'eau ; les épaisseurs du béton et de la chape sont respectivement réduites à 0 m. 10 et à 0,015 (au lieu de 0 m. 15 et 0,020).

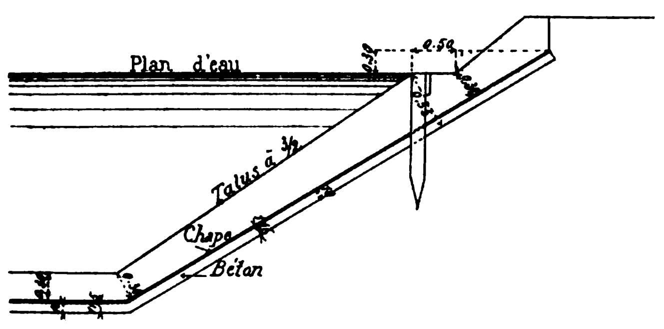


Fig. 36.

Ce dernier point seul mérite quelques explications. MM. les ingénieurs du canal de la Marne à la Saône estiment qu'avec les matériaux dont ils disposent, le béton ne peut pas être considéré comme suffisamment étanche. C'est sur la chape seule qu'ils comptent pour assurer l'étanchéité, la couche de béton n'ayant d'autre rôle que celui de supporter la chape. Or, il résulte pour eux, d'une expérience prolongée, qu'une couche de béton au mortier de chaux hydraulique, dont l'épaisseur de 0 m. 11 après répandange est réduite à 0 m. 10 par des damages et savatages convenables, suffit pour donner des résultats satisfaisants à ce point de vue. Par contre, pour la

1. Voir le mémoire de M. l'ingénieur des ponts et chaussées Moissenet, inséré dans les *Annales des ponts et chaussées*, 1898, 3e trimestre.

Digitized by Google

chape, dont l'épaisseur de 0 m. 015 se compte après lissage, ils ont en dernière analyse substitué le mortier de ciment de laitier au mortier de chaux hydraulique ; ils lui ont aussi, dans certains cas, appliqué un goudronnage dont nous parlerons plus loin.

En regard de la surface de 224.992 mètres carrés mentionnée ci-dessus, les dépenses à l'entreprise se sont élevées à 631.919 francs, ce qui fait ressortir à 2 fr. 58 le prix moyen du mètre carré, non compris les divers travaux payés sur la somme à valoir.

182. Dispositions spéciales au cas où des sous-pressions sont à redouter. — Les dispositions décrites dans les deux articles précédents s'appliquent seulement au cas où les filtrations tendent toujours à se produire du dedans au dehors. Dans le cas contraire, dans le cas où l'on a à redouter des sous-pressions qui pourraient soulever le béton, on procède comme il suit.

Au-dessous du fond de la fouille pratiquée dans le plafond du canal, on pose des drains longitudinaux en nombre suffisant (trois d'habitude) pour recueillir les eaux venant du dehors. De distance en distance, ces drains longitudinaux sont recoupés par des drains transversaux, qui se relèvent sous les talus et viennent déboucher dans la cuvette un peu au-dessus du plafond du canal par des orifices munis de clapets (pl. LXVIII, page 307). Les clapets restent hermétiquement fermés tant que la pression s'exerce de la cuvette vers l'extérieur, mais ils s'ouvrent dès que la pression tend à changer de sens et, donnant libre cours à l'eau, préviennent tous les dangers qui pourraient résulter d'une sous-pression.

Dans les bétonnages du canal de la Marne au Rhin, les drains, de $\frac{0 \text{ m. } 20}{0 \text{ m. } 20}$ de section, étaient formés de deux murettes en moellons posés à sec, l'intervalle des deux étant couvert par des madriers en chêne de 0 m. 03 d'épaisseur ou par des

Digitized by Google

pierres plates (fig. 37). L'épaisseur de la chemise en béton était d'ailleurs portée à 0 m. 20.

Au canal de la Marne à la Saône, on a employé comme drains des tuyaux en ciment de 0 m. 10 à 0 m. 20 de diamètre inté-

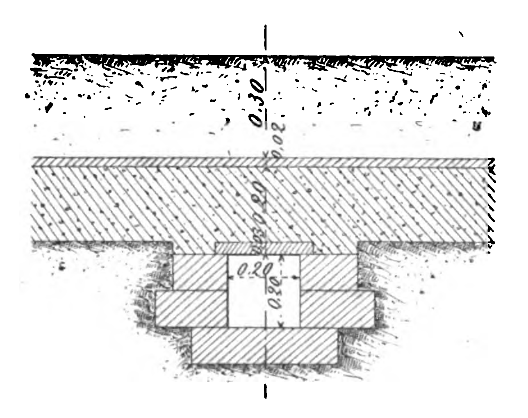


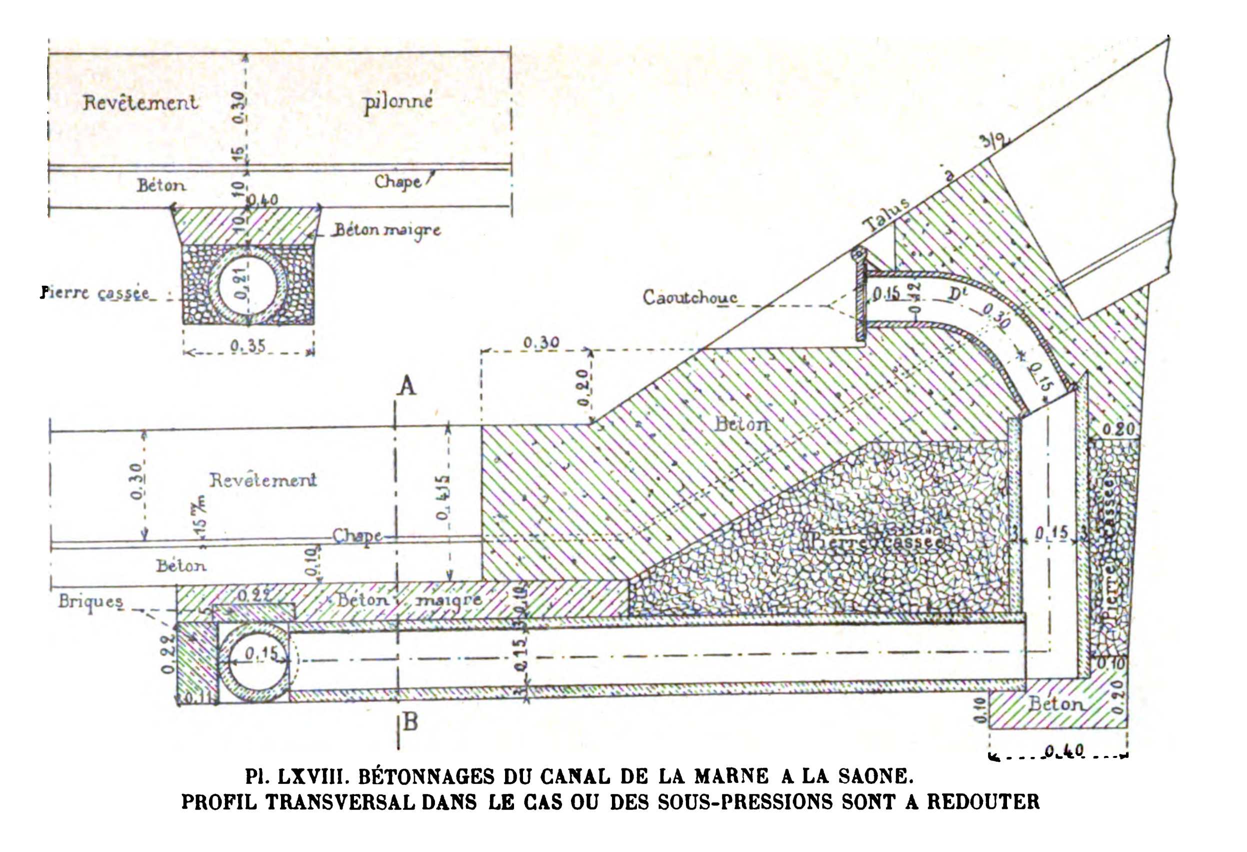
Fig. 37.

rieur dont la planche LXVIII montre très clairement l'agencement. D'après les dessins, la chemise en béton ne serait renforcée qu'au-dessus des drains, par une couche de béton maigre de 0 m. 10 d'épaisseur. Dans d'autres parties du canal où des sous-pressions étaient également à craindre, l'épaisseur de la chemise a été portée à 0 m. 20 sur le plafond. La planche LXVIII représente encore un clapet dont le type et le mode d'installation paraissent très recommandables.

Il va de soi que ces diverses sujétions augmentent le prix des bétonnages dans les parties où des sous-pressions sont à redouter. Les prix du mètre carré cités plus haut sont des moyennes.

133. Détails d'exécution. — Une chemise de béton de 0 m. 17 et *a fortiori* de 0 m. 115 d'épaisseur totale est éminemment fragile ; si on la plaçait sur un terrain susceptible de mouvements, elle risquerait de se disloquer et le succès de l'opération serait compromis. Les bétonnages sont donc

Digitized by Google



Pl. LXVIII. BÉTONNAGES DU CANAL DE LA MARNE A LA SAONE.
PROFIL TRANSVERSAL DANS LE CAS OU DES SOUS-PRESSIONS SONT A REDOUTER

Digitized by Google

bien à leur place dans les parties de canal en déblai où la cuvette est ouverte dans un terrain solide, bien que perméable ou même très perméable, et là, ils peuvent être exécutés immédiatement après les terrassements. Sur les remblais, il est prudent d'attendre, avant d'y avoir recours, que ceux-ci aient subi un tassement complet, ce qui exige souvent beaucoup de temps.

Un point capital est le dosage et la confection des mortiers et des bétons. Si l'on veut qu'ils soit aussi étanches que possible, il faut que dans les mortiers la chaux ou le ciment remplisse bien exactement les vides du sable, et que dans les bétons il en soit de même du mortier, par rapport aux interstices du gravier ou de la pierre cassée. Les dosages doivent donc être déterminés dans chaque cas particulier par des expériences et des essais directs faits sur les matériaux dont on dispose. Aussi est-ce à titre de simple renseignement que nous citerons le dosage de 400 kilogrammes de chaux hydraulique éteinte en poudre ou de ciment de laitier, par mètre cube de sable fin, adopté au canal de la Marne à la Saône pour la chape, seule partie considérée comme pouvant prétendre à l'étanchéité. En ce qui concerne la confection même des mortiers, l'emploi des malaxeurs n'est pas à conseiller; ils n'opèrent pas une liaison suffisante des matières; il faut recourir à l'emploi de broyeurs à auge horizontale.

La chaux hydraulique est presque exclusivement employée pour la confection du béton ; c'est seulement dans certains cas exceptionnels, où il était nécessaire d'accélérer la prise et d'empêcher le délavage, que les ingénieurs du canal de la Marne à la Saône y ont substitué le ciment de laitier. Par contre, c'est à ce dernier qu'ils donnent la préférence pour la confection de la chape. La rapidité de la prise est un très grand avantage au point de vue des facilités d'exécution et de l'organisation des chantiers; d'autre part, l'étanchéité après la prise est presque absolue. Un badigeonnage ultérieur au lait de ciment (une ou deux couches) peut augmenter encore cette étanchéité.

Digitized by Google

Dans ce même ordre d'idées, certains ingénieurs recommandent le goudronnage des chapes ou même des chemises en béton exécutées sans chape. D'après eux, le goudron, flambé de manière à acquérir une consistance sirupeuse et appliqué bien à chaud en deux couches consécutives, bouche toutes les gerçures, ferme les fentes capillaires qu'il est à peu près impossible d'éviter lors de la dessiccation du béton ou du mortier et constitue le meilleur moyen d'obtenir une étanchéité complète. Ce goudronnage doit se pratiquer après l'achèvement du travail et immédiatement avant l'exécution du revêtement en terre. Des expériences ont été faites à ce sujet dans le service du canal de la Marne au Rhin et ont donné des résultats tout à fait suggestifs. On a constaté que la perte par mètre carré et par 24 heures était :

Chemise en béton sans chape et non goudronnée, 17 lit. 85 ;

La même, sans chape, mais goudronnée, 1 lit. 67 ;

La même, avec chape en mortier de ciment et non goudronnée, suivant le dosage du mortier, 9 lit. 28, 3 lit. 34, 1 lit. 41 ;

La même, avec chape en mortier de ciment et goudronnée, *néant*.

Cette dernière, exposée pendant 120 heures consécutives à une charge d'eau de 2 m. 50, n'a laissé apparaître aucune trace de suintements.

Néanmoins, dans bien des cas, on se contente de l'étanchéité presque complète que donne la chape en mortier de ciment à dosage élevé et on renonce au goudronnage. Cette opération, qui n'est pas possible dans certaines circonstances atmosphériques, est toujours longue et recule notablement le moment où peut être effectué le revêtement en terre. C'est là, il faut le reconnaître, un sérieux inconvénient, les travaux de cette nature devant être, en général, enlevés très vivement pendant la courte durée d'un chômage.

184. Revêtement en terre. — Le revêtement en terre est le correctif nécessaire et efficace de la fragilité des che-

Digitized by Google

mises en béton qui, grâce à lui, sont préservées du contact direct de l'eau, de l'action immédiate des agents atmosphériques, des chocs et du frottement des bateaux, des coups des gaffes et autres engins dont se servent les mariniers, etc.... On considère généralement que son épaisseur ne doit pas descendre au-dessous de 0 m. 30.

Il présente d'ailleurs une région particulièrement délicate, aux environs de la ligne d'eau. C'est là que tend à se produire, fatalement, pour des raisons qu'il est inutile d'énumérer de nouveau, une déformation caractéristique des talus des cuvettes des canaux. La présence d'une chemise en béton, dont la surface forme joint de glissement, n'est pas pour améliorer la situation. En fait, sur les canaux où ce mode d'étanchement est appliqué, on a eu souvent occasion de constater qu'au bout d'un certain temps, la partie supérieure du béton, mise à nu, se trouvait exposée à toutes les causes de destruction. Une fissure longitudinale se produisait peu à peu et finissait par régner d'une manière presque continue à la hauteur de la flottaison, véritable déversoir par lequel se produisaient d'abondantes déperditions.

C'est pour parer à cet inconvénient qu'avait été, par exemple, appliqué sur le canal de la Marne à la Saône, le dispositif représenté dans la figure 36 (page 304), suivant lequel l'arête antérieure de la risberme de 0 m. 50, ménagée au niveau du plan d'eau, est protégée par un système de piquets et de madriers horizontaux. Les piquets traversent le béton qui se trouve ainsi percé d'une série de trous, à 0 m. 60 environ en contre-bas du plan d'eau. C'est là un inconvénient sérieux et le dispositif en question a été abandonné.

Celui qui est figuré ci-contre (fig. 38) nous paraît bien autrement recommandable. La risberme n'a plus que 0 m. 20 de largeur et elle a été abaissée à 0 m. 10 au-dessous du plan d'eau; mais, dans le voisinage, l'épaisseur du revêtement n'est pas inférieure à 0 m. 60. L'inclinaison du béton sous le talus se trouve d'ailleurs adoucie, le danger de glissement est atténué.

Digitized by Google

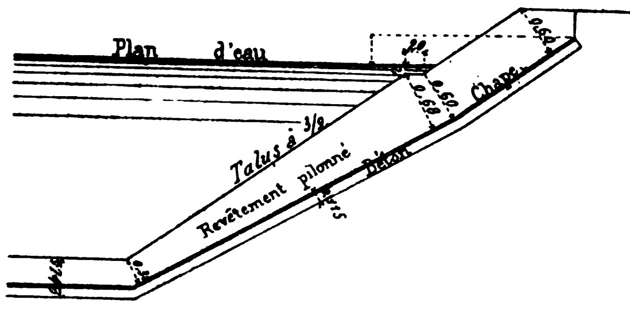


Fig. 38.

Quand on peut, sans trop de dépense, protéger le talus de la cuvette sur toute sa hauteur par un perré (fig. 39) la solution est assurément excellente. Il suffirait que le perré régnât à la

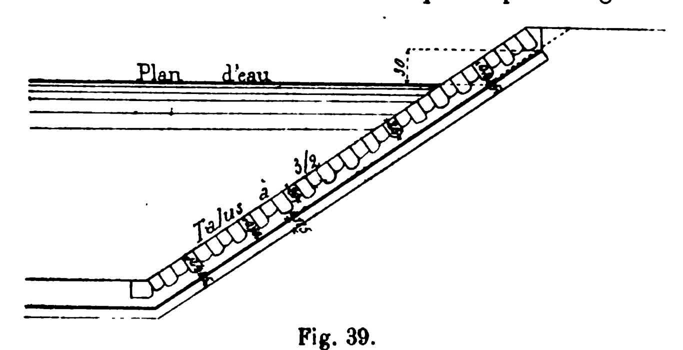


Fig. 39.

partie supérieure du talus, mais alors il est indispensable que son pied soit soutenu.

La figure 40 montre la disposition employée à cet effet sur

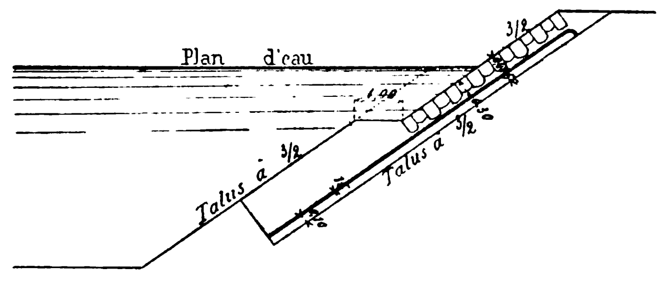


Fig. 40.

Digitized by Google

le canal de la Marne à la Saône ; une risberme de 1 mètre de largeur a été ménagée dans le revêtement en terre dont l'épaisseur, à la partie inférieure du talus, a été augmentée en conséquence.

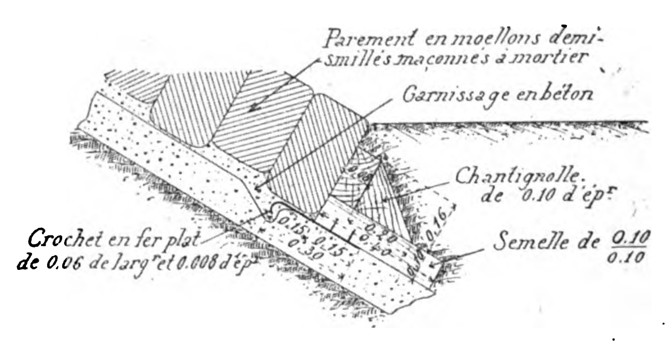


Fig. 41.

Sur le canal de la Marne au Rhin, on a fait autrement (fig. 41). Le perré maçonné à mortier est assis, par l'intermédiaire d'une couche de béton dont l'épaisseur varie à la demande des moellons, sur la chemise d'étanchement elle-même. Le pied du perré est d'ailleurs soutenu par une pièce de bois longitudinale fixée au béton de la chemise par des semelles-crochets espacées de 1 m. 50.

135. Résumé. — Lorsque l'équilibre entre la consommation d'eau d'un canal et ses ressources alimentaires menace de se rompre, le devoir des ingénieurs est tout d'abord de s'appliquer à restreindre la consommation ; nous nous sommes déjà expliqués sur ce point (pages 283 et 284). C'est alors que la question des travaux d'étanchement se pose. Il va de soi que c'est sur les parties les plus perméables que l'effort devra se porter en premier lieu. Quant au choix des procédés à employer, il résultera de l'étude attentive des diverses circonstances locales, notamment de la constitution du terrain et de la nature des matériaux dont on peut disposer.

Quand on n'a pas besoin d'une imperméabilité très com-

Digitized by Google

plète, les étanchements à l'eau trouble peuvent fournir une solution économique; mais on ne perdra pas de vue qu'il y a une relation obligée entre la nature des matières à mettre en suspension dans l'eau et l'importance des vides auxquels le sol doit sa perméabilité. Si cette relation n'est pas strictement observée, on ne peut espérer le succès. L'étanchement à l'eau trouble nous paraît devoir aussi intervenir heureusement pour compléter sur l'ensemble d'un ou de plusieurs biefs l'œuvre déjà réalisée sur les points les plus mauvais par d'autres procédés.

Les corrois donnent d'excellents résultats au début, mais semblent perdre de leur efficacité avec le temps. Si, pour obtenir de plus sérieuses garanties de durée, on les établit avec les dimensions et les soins pratiqués au canal de la Marne à la Saône, ils sont à peu près du même prix que les bétonnages. Néanmoins, ils pourront fournir une précieuse ressource dans les terrains mouvants ou sur des remblais non encore entièrement assis.

Les jointoiements, les rocaillages, les muraillages complets seront appliqués dans les tranchées rocheuses suivant la nature de la roche.

Dans les autres terrains stables, bien que perméables peu ou prou, l'emploi des chemises en béton est à recommander. Il s'impose d'ailleurs, complété par un drainage inférieur, partout où les sous-pressions sont à craindre. Dans ce cas, tout autre procédé d'étanchement devient inefficace puisque la sous-pression, quand elle vient à se produire, en détruit les effets.

Ce qu'il importe de répéter encore avant de quitter ce sujet, c'est que si, sur certains points d'un canal, des procédés d'étanchement judicieusement choisis et soigneusement appliqués permettent de réaliser une imperméabilité presque absolue, il ne peut en être de même partout et en fin de compte la perte moyenne sur toute l'étendue de la voie navigable reste toujours notable. Le chiffre de 1 mètre cube par

Digitized by Google

mètre courant et par 24 heures que nous avons indiqué plus haut (page 260) comme un minimum *espérable* dans des canaux du type ordinaire actuel en France, ne pêche assurément pas par excès [1]. Sur le canal de la Marne à la Saône, dans les 36 kilomètres compris entre Rouvroy et Chaumont, la perte moyenne par kilomètre et par 24 heures, à la fin de 1896, c'est-à-dire après l'exécution des bétonnages, était encore de 3 mc. 9 ; il est vrai qu'auparavant elle atteignait 18 mètres cubes.

[1] Dans une brochure intitulée *Observations sur la catastrophe de Bouzey*, M. l'inspecteur général Maurice Lévy donne le relevé des *pertes d'eau par imbibition, évaporation, etc..., par mètre courant et par vingt-quatre heures*, fait pour un certain nombre de canaux de France, d'une longueur totale de 1.304 kilomètres. La moyenne est de 1 mc. 8, le maximum de 13 mc. 5, le minimum de 0 mc. 2.

Digitized by Google

CHAPITRE VII

ALIMENTATION DES CANAUX

---

§ 1

CANAUX LATÉRAUX

126. Nécessité de prises d'eau multiples. — Un canal latéral est généralement, à son origine, en communication avec la rivière dont il suit la vallée et peut souvent lui emprunter un volume d'eau important ; mais on se tromperait si on croyait qu'il y a là, au point de vue de l'alimentation, une ressource susceptible de suffire à tout.

Considérons une section de canal alimentée uniquement par son extrémité supérieure, la prise d'eau doit fournir le volume nécessaire pour faire face : 1° aux déperditions par évaporation, infiltrations, imbibition du sol et fausses manœuvres, sur toute la longueur de la section ; 2° à la consommation utile de la dernière écluse ; 3° aux pertes par les portes de cette écluse. Au fur et à mesure que la longueur de la section de canal considérée augmente, les déperditions s'accroissent en proportion ; la consommation utile de la dernière écluse peut augmenter aussi si celle-ci se trouve reportée dans une région plus peuplée, plus commerçante, où le mouvement de la navigation est plus intense ; bref il arrive bien vite que la partie haute du canal doit débiter un volnme d'eau tel que le courant atteint des vitesses incompatibles avec une bonne navigation et que les chances de fausses manœuvres se multiplient

Digitized by Google

dans une grande proportion. Mais c'est surtout lors du remplissage du canal à la suite d'un chômage que les inconvénients de la situation deviennent graves.

Le canal latéral à la Loire offre un exemple remarquable de ces inconvénients dans les années où la sécheresse est assez grande pour que les petits affluents tarissent. Dans ce cas, l'alimentation jusqu'au delà du Guétin se fait exclusivement par la prise d'eau établie à Roanne, dans la Loire, en tête du canal de Roanne à Digoin, à 161 kilomètres de distance. C'est cette unique prise d'eau qui doit suffire au remplissage de 161 kilomètres de canal.

La surface mouillée du profil peut être comptée de 30 mq. en nombre rond ; la capacité à remplir est donc de 30 × 161.000 = 4.830.000 mc.. Dans l'intérêt de la navigation il conviendrait que l'eau dans le canal n'eût pas une vitesse supérieure à 0 m. 10 par seconde correspondant à un débit de 3 mc. également par seconde, soit en nombre rond de 260.000 mc. par jour. Il faudrait donc 19 jours, soit près de trois semaines, pour fournir le cube indiqué ci-dessus. Mais d'après ce que nous avons dit plus haut (page 261), si le chômage a été un peu prolongé, comme par hypothèse la sécheresse a été grande, c'est au moins du double de ce cube qu'il faudrait pouvoir disposer. On voit comment, dans de pareilles conditions, le remplissage du canal après un chômage peut se prolonger dans des proportions déplorables pour la batellerie.

Il faut donc, alors même que le canal posséderait à son origine amont une prise d'eau de puissance presque indéfinie, le sectionner en un certain nombre de groupes de biefs et donner à chaque groupe des moyens d'alimentation distincts, de telle sorte que, suivant le principe énoncé par un ingénieur éminent, M. Comoy, « l'eau ait la moins grande longueur possible de *canal* à parcourir pour arriver au point où elle est « utile ».

Il est impossible de formuler aucune règle pour l'espace-

Digitized by Google

ment de ces prises d'eau secondaires; il semble qu'il pourrait être d'autant plus grand que le canal traverse des terrains moins perméables et est moins fréquenté. Mais en fait, cet espacement dépend des circonstances locales; les prises d'eau secondaires sont établies là où on peut, sans trop de dépenses, se procurer des ressources alimentaires suffisantes.

187. Prise d'eau principale à l'origine du canal. — Pour nécessaire que soit l'établissement de prises d'eau multiples échelonnées le long du canal, il n'en est pas moins prudent de donner à la prise d'eau d'origine des dispositions qui permettent de faire les plus larges emprunts possibles à la rivière, c'est-à-dire au cours d'eau le plus important de la contrée, à celui qui peut fournir les ressources alimentaires les plus abondantes et les plus sûres. En temps ordinaire les emprunts seront limités par les considérations que nous avons exposées ci-dessus, mais, le cas échéant, on sera très heureux de pouvoir les développer. A cet effet la prise d'eau se fera dans le remous d'un barrage, fixe ou mobile, établi en travers de la rivière et sera, autant que possible, établie sur une rive concave où le courant se porte naturellement.

Un canal latéral pouvant être assimilé à une dérivation de grande longueur, on pourrait croire qu'il doit être, à son origine, disposé comme le sont d'habitude les dérivations dont nous avons parlé ailleurs[1]; ce serait, le plus souvent, une erreur.

Généralement le premier bief du canal n'est pas en communication directe avec la rivière; il en est séparé par une écluse à sas; et le niveau du plan d'eau dans ce premier bief est notablement inférieur à celui de la retenue du barrage de prise d'eau. Cette disposition permet de relever à volonté, au moins dans certaines limites, le plan d'eau du premier bief, et dans diverses circonstances cette faculté est précieuse. Ainsi,

1. *Rivières canalisées*, chapitre IX, § 2, page 445.

Digitized by Google

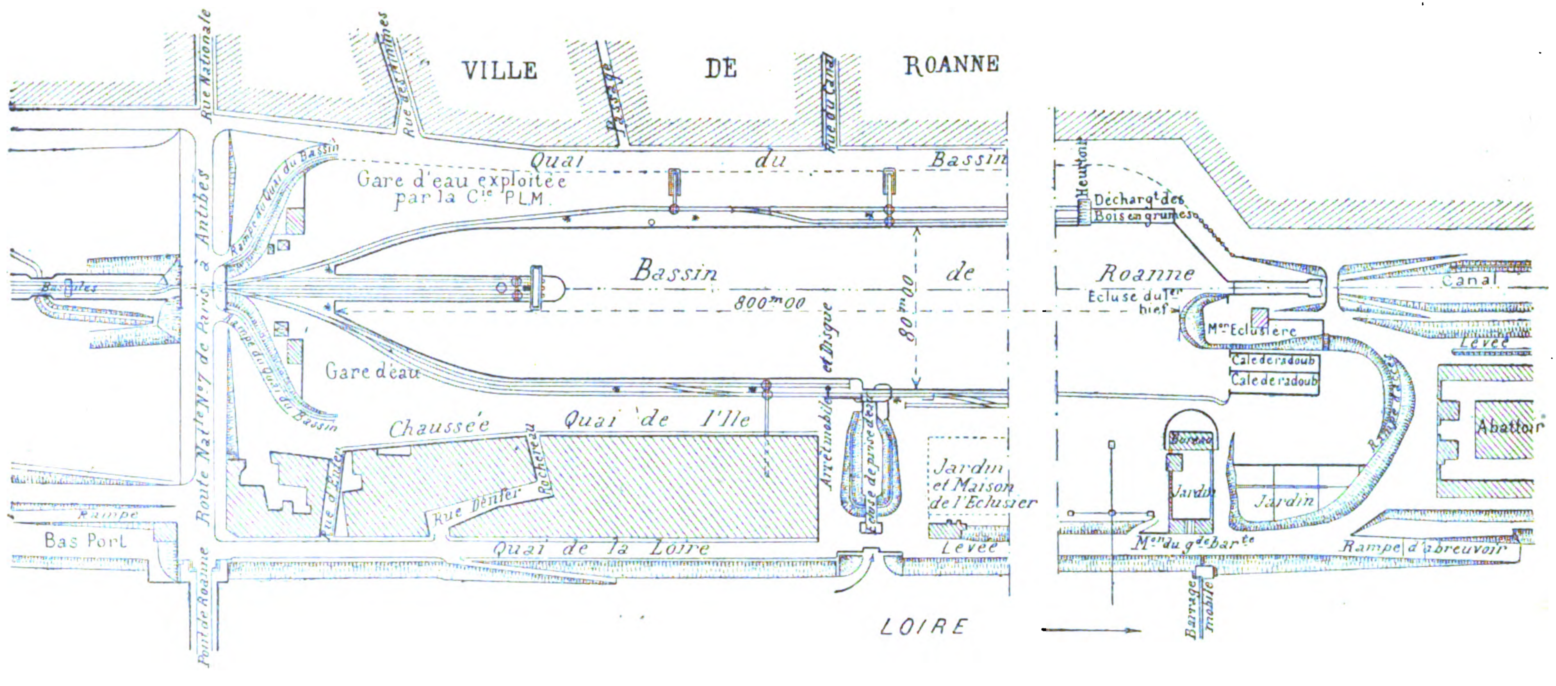
par exemple, le premier bief du canal, recevant de première main les eaux souvent troubles de la rivière, est particulièrement sujet à s'envaser; en relevant le plan d'eau on sera toujours à même d'y maintenir le mouillage voulu, en attendant que des curages puissent être exécutés. Dans un autre ordre d'idées, le relèvement du plan d'eau de ce premier bief permet, à l'occasion, d'y mettre en réserve un cube d'eau plus ou moins important qui peut faciliter l'alimentation des biefs inférieurs.

D'autre part, si l'écluse à sas placée en tête du canal doit donner passage à une navigation quelque peu importante, on ne saurait, sans gêner grandement cette dernière, s'en servir pour l'introduction de l'eau d'alimentation ; il est indispensable d'avoir dans le remous du barrage un ouvrage spécial de prise d'eau, qui peut être voisin de l'ouvrage de navigation, mais qui doit en être complètement indépendant. L'ouvrage de prise d'eau peut consister en un simple vannage, mais il est préférable de placer ce vannage à la partie postérieure d'un bassin dont la partie antérieure est formée par un déversoir sur lequel passent les eaux de la rivière. A la condition de donner au déversoir une longueur telle que la vitesse dans la lame déversante ne dépasse pas celle de l'eau en rivière, on réduira autant que possible l'entraînement des matières en suspension.

L'existence de deux ouvrages distincts en tête du canal a encore cet avantage que, si l'un d'eux se trouve momentanément hors de service, l'alimentation peut toujours se faire par l'autre, fût-ce au prix d'une certaine gêne imposée à la navigation.

188. Prise d'eau en Loire du canal de Roanne à Digoin. — La prise d'eau de Roanne, établie en tête du canal de Roanne à Digoin pour l'alimentation de ce canal et du canal latéral à la Loire, ainsi que nous l'avons expliqué plus haut (page 316), est un exemple intéressant de l'application des principes posés ci-dessus.

Digitized by Google



Pl. LXIX. PRISE D'EAU EN LOIRE DU CANAL DE ROANNE A DIGOIN. — PLAN.

Digitized by Google

La Loire, dans le remous du barrage mobile établi sur le fleuve à Roanne, est en communication avec un grand bassin long de 800 mètres et large de 80 qui forme le port de Roanne (pl. LXIX). Le passage entre les deux est muni d'une porte de garde qui n'est fermée qu'en cas de crues trop élevées ; sa largeur est suffisante pour que les bateaux puissent, le cas échéant, circuler entre la Loire et le bassin ou inversement ; mais c'est là une circonstance tout à fait exceptionnelle ; il n'y a, en réalité, pas de navigation sur la Loire. A l'extrémité aval du bassin est établie une écluse à sas qui commande le premier bief du canal. La tenue normale du barrage est à l'altitude (268,42), qui est aussi celle de l'eau dans le bassin ; le plafond de ce dernier est réglé à la cote (265,82). Le plan d'eau normal et le plafond du premier bief du canal sont respectivement aux altitudes (267,82) et (265,62). Il est facile de se rendre compte des avantages que peuvent présenter ces dispositions.

Les variations du niveau de l'eau en Loire ne se font sentir que dans le bassin, sans pouvoir s'étendre au premier bief du canal. C'est en prévision des abaissements du plan d'eau qui peuvent se produire lorsque le barrage est abattu, et en vue de toujours conserver un mouillage suffisant dans le bassin, que le plafond de ce dernier a été descendu à 2 m. 60 en contrebas de la retenue normale du barrage. De même les matières en suspension dans les eaux du fleuve se déposent presque entièrement dans le bassin, où elles sont draguées périodiquement avec plus de facilité que dans le canal.

Si, nonobstant, quelques dépôts se formaient dans le premier bief du canal, il serait possible d'y relever le plan d'eau en conséquence sans compromettre l'alimentation, vu la différence de niveau de 0 m. 60 qui existe entre la tenue normale du bassin et celle du bief. La revanche de 0 m. 60 permettrait également un relèvement du plan d'eau du dit bief en vue d'y emmagasiner un volume d'eau supplémentaire pour faciliter l'alimentation des biefs inférieurs.

Digitized by Google

139. Prises d'eau secondaires étagées le long du canal. — Si, de la prise d'eau principale établie en tête du canal, nous passons aux prises d'eau secondaires, nous tombons dans un tout autre ordre d'idées.

Nous avons vu, en effet, que, pour beaucoup de raisons, sur lesquelles il est inutile de revenir, les canaux latéraux, en quittant le cours d'eau naturel dont ils suivent la vallée, se jettent immédiatement à flanc de côteau et s'y maintiennent, sauf à se relier au thalweg par des embranchements, comme le fait le canal latéral à la Loire à *Decize*, à *Nevers*, à *Fourchambault* et à *Saint-Satur*, pour desservir les centres commerciaux qui existent dans la vallée.

Dans cette situation, il ne serait assurément pas impossible de recourir encore au cours d'eau principal, en dérivant ses eaux dans des rigoles qui auraient une moindre pente que lui et rejoindraient le canal sur les versants. Toutefois, cette solution serait dans la plupart des cas assez imparfaite. Les rigoles seraient placées dans le champ d'inondation et dans les terrains perméables que l'on a voulu éviter pour le canal. Elles couperaient les parties du territoire les plus riches et les plus peuplées. Enfin, leur établissement présenterait d'autant plus de difficultés qu'on descendrait plus bas dans la vallée, parce que la pente du cours d'eau va généralement en diminuant et les coteaux en s'écartant.

Cette solution doit être réservée pour le cas où on ne peut pas trouver d'autre moyen d'alimentation. A tous les points de vue, il est préférable d'emprunter, toutes les fois que la chose est possible, les eaux d'alimentation aux affluents du cours d'eau principal. L'eau de ces affluents doit être nécessairement prise en amont de leur rencontre avec le canal, ce qui détermine la direction des rigoles alimentaires dont nous allons maintenant nous occuper.

140. Rigoles alimentaires. — Les rigoles alimentaires ont donc pour but d'amener en tête d'un certain groupe de

Digitized by Google

biefs l'eau nécessaire pour réparer les pertes de toute espèce que subit ce groupe. Elles sont placées, d'après ce que nous venons de dire, sur les flancs des vallées secondaires, c'est-à-dire sur des versants plus raides, en général, que ceux sur lesquels le canal est assis et leur destination unique est, d'ordinaire, d'apporter leur tribut aussi régulièrement que possible.

Cependant, quelques rigoles ont été rendues navigables sur tout ou partie de leur cours et constituent ainsi des embranchements des canaux auxquels elles se rattachent. Tel est, par exemple, le cas de la rigole de la Bèbre, entre Dompierre et le canal latéral à la Loire et de la rigole de l'Arroux, entre Gueugnon et le canal du Centre. Les rigoles de ce genre doivent, naturellement, être établies suivant les mêmes règles que les canaux et nous n'en parlerons pas davantage.

Nous nous arrêterons au contraire sur les rigoles qui jouent uniquement le rôle d'aqueduc et qui, à ce titre, comportent des dispositions autres que celles qui s'appliquent aux canaux. Mais une observation préalable s'impose. Les rigoles établies pour l'alimentation des canaux latéraux n'ont généralement qu'un développement médiocre à raison de la faible différence de hauteur à racheter. En général aussi, et pour la même raison, leur construction ne présente ni difficultés ni particularités bien intéressantes. Il en est tout autrement des rigoles auxquelles on a eu recours, ainsi que nous le verrons plus loin, pour l'alimentation des biefs de partage de certains canaux à point de partage. Ces dernières présentent souvent un développement important : la rigole de Saint-Privé qui amène les eaux du Loing au bief de partage du canal de Briare a une longueur de 20 kil. 700 ; celle qui amène les eaux de l'Yonne au bief de partage du canal du Nivernais est longue de plus de 29 kilomètres ; celles qui dérivent les eaux de l'Oise et du Noirrieu pour les conduire au bief de partage du canal de Saint-Quentin ont un développement total de

Digitized by Google

24 kil. 890. Ces rigoles sont souvent établies dans des contrées accidentées où d'importants ouvrages d'art sont inévitables. C'est ainsi que la rigole d'Yonne comporte plusieurs ponts-aqueducs sur arcades dont un, celui de Montreuillon, ne mesure pas moins de 145 m. de longueur sur 33 m. de hauteur. C'est ainsi encore que sur la rigole du Noirrieu on rencontre un souterrain dont la longueur est de 13 k. 800. On ne s'étonnera donc pas si, désireux de traiter ici complètement le sujet des rigoles d'alimentation, nous empruntons souvent nos exemples et nos renseignements à des ouvrages autres que ceux qui sont spéciaux aux canaux latéraux.

141. Débit à demander aux rigoles. — Dans son *Cours de navigation intérieure*, M. Guillemain pose, sinon comme une règle absolue du moins comme un desideratum à ne pas perdre de vue, que chaque groupe de biefs pourvu d'une alimentation spéciale ne devrait jamais avoir besoin de recevoir plus d'un mètre cube d'eau en moyenne par seconde. Il ajoute d'ailleurs qu'on se tromperait si on jugeait suffisant que chaque rigole pût débiter ce volume d'eau.

En effet, d'une part, l'apport *moyen* et *régulier* d'un mètre cube correspond, avec les variations nécessaires des niveaux des biefs, à un débit, tantôt plus fort et tantôt plus faible. La rigole devrait donc être à même de fournir au moins 1 mc. 50 par seconde à son débouché dans le canal si le groupe de biefs qu'elle alimente demande 1 mètre cube en moyenne.

D'autre part, les rigoles, aussi bien que les canaux, ont leurs pertes par évaporation, par filtrations et imbibition, par accidents ou fausses manœuvres, en sorte que, si l'on veut être assuré d'avoir 1 mc. 50 d'eau à l'arrivée, il faut en prendre beaucoup plus au départ.

En outre, il est indispensable de faire la part de l'avenir et de se réserver le moyen de parer à l'interruption possible de l'alimentation par une des rigoles voisines, en augmentant le débit de celles qui resteront à même de fonctionner.

Digitized by Google

Enfin, pour le cas de remplissage du canal après un chômage, on est heureux de pouvoir, lorsque les ressources des cours d'eau le permettent, porter à son maximum le volume à déverser dans les biefs.

D'ailleurs les dépenses sont très loin de croître comme le volume transporté ou même comme la section. On est donc amené, toutes les fois que le permet le débit des affluents, à construire les rigoles de telle sorte que leur débit maximum, à pleins bords, puisse être au moins double et mieux encore triple du volume moyen qu'elles doivent fournir au canal, à leur tenue d'eau normale.

Si on considère d'autre part que les cours d'eau secondaires auxquels on peut, sans inconvénients, emprunter *en tout temps* 3 mètres cubes par seconde, sont rares, on arrive le plus souvent à cette conclusion que la rigole doit être disposée de manière à débiter tout ce qu'il est possible de prendre à la rivière en basses eaux.

Le débit de la rigole étant ainsi évalué dans chaque cas particulier, on a à en déterminer la section et la pente.

149. Vitesse à donner à l'eau. — Dans l'espèce, il n'y a plus à se préoccuper de la navigation; c'est par d'autres considérations que la vitesse à donner à l'eau peut être déterminée. Elle ne doit pas être inférieure à 0 m. 30 par seconde sous peine de voir les herbes envahir la cuvette. La présence de ces herbes réduit la section, diminue le débit et constitue toujours un grave inconvénient pour les rigoles. Le plus sûr moyen de s'en préserver consiste à planter les berges d'arbrisseaux, tels que les saules, dont les branches peuvent former berceau et préviennent par leur ombrage le développement de la végétation aquatique; celle-ci se développe, en effet, d'autant plus que l'eau s'échauffe davantage par suite de son exposition au soleil. C'est une précaution très utile à prendre sur toutes les rigoles d'alimentation.

Si la vitesse moyenne ne doit pas être inférieure à 0 m. 30,

Digitized by Google

elle doit, par contre, rester au-dessous du chiffre correspondant à la résistance des talus, suivant leur nature. C'est donc entre ces limites qu'on choisira, en ayant égard à la nature des terrains traversés. En général, on pourra regarder comme normale une vitesse de 0 m. 50.

143. Section à adopter. — Etant donnés le débit que l'on veut obtenir et la vitesse moyenne aux environs de laquelle on entend se tenir, il est aisé de déterminer les dimensions de la section, qui est habituellement trapézoïdale avec des talus dont l'inclinaison varie, suivant la nature des terrains traversés, entre 1 pour 1 et 3 de base pour 2 de hauteur. Les deux digues latérales s'élèveront de 0 m. 40 à 0 m. 60 au-dessus du niveau d'étiage de la rigole. La largeur des digues ne sera pas inférieure à 2 mètres et l'une des deux, au moins, devra être assez large pour que le passage d'une voiture y soit possible. Renoncer à cette facilité, par raison d'économie dans la construction, serait grever lourdement l'avenir, au point de vue de l'entretien.

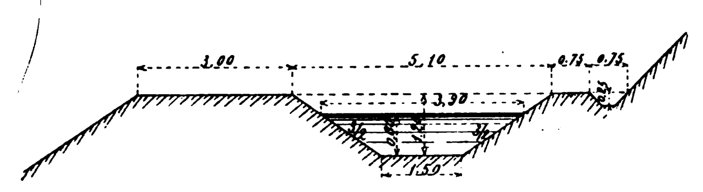


Fig. 42.

La figure 42 ci-contre donne comme exemple la section transversale de la rigole d'Yonne (canal du Nivernais) dans un profil mi-partie en déblai et en remblai. Du côté du remblai, la digue a, en couronne, une largeur de 3 mètres bien suffisante pour le passage d'une voiture. Du côté du coteau, en déblai, il n'y a qu'un simple marchepied de 0 m. 75 bordé d'un fossé de 0 m. 75 en gueule et de 0 m. 25 de profondeur.

144. Pente à donner. — Ayant ainsi le débit et la section

Digitized by Google

mouillée qui fixe le rayon moyen, les formules font connaître la pente qui répond à la vitesse choisie et le tracé s'ensuit. Il y a même lieu de remarquer qu'ici les formules d'hydraulique sont rigoureusement applicables. On se trouve, en effet, en présence de sections régulières, et c'est souvent sur des rigoles de ce genre qu'ont été faites les expériences qui ont servi à déterminer les formules, celles de M. Bazin, par exemple.

L'inclinaison ainsi calculée varie dans des limites très étendues. La pente de 0 m. 10 par kilomètre peut être considérée comme un minimum et on ne dépasse guère 0 m. 50. Sur la rigole qui amène au bief de Foug (canal de la Marne au Rhin) les eaux de la Moselle élevées par les usines de Pierre-la-Treiche et de Valcourt, la pente varie entre 0 m. 10 et 0 m. 20 par kilomètre. Sur la rigole d'Yonne, elle est *en moyenne* de 0 m. 38 aussi par kilomètre. L'uniformité de la pente sur toute la longueur de la rigole n'est, en effet, nullement nécessaire. Rien ne s'oppose à ce que, dans les passages difficiles, on augmente la pente de manière à pouvoir réduire la section, tout en conservant un débit au moins égal à celui des parties construites au gabarit normal. Sur les ouvrages d'art notamment on peut, par ce procédé, diminuer la largeur de la cuvette et réduire d'autant le cube des maçonneries.

C'est ainsi, par exemple, que lors de la construction de la rigole d'Yonne, pour l'alimentation du canal du Nivernais, la cuvette sur les ouvrages d'art a été établie dans la forme d'un rectangle mesurant seulement 2 mètres de largeur et 0 m. 80 de mouillage; mais la pente a été portée au double de ce que le calcul indiquait comme nécessaire, à l'étiage, pour conserver avec ces dimensions restreintes le même débit que les parties établies au gabarit normal. M. l'ingénieur en chef Charrié-Marsaines avait même poussé la prudence jusqu'à augmenter la pente aux abords des grands ponts-aqueducs qu'il a eus à construire sur cette rigole, afin que les eaux d'alimentation eussent leur passage parfaitement assuré, quelle que fût leur abondance.

Digitized by Google

145. Ouvrages d'art en général. — Les rigoles partent d'un niveau fixé à l'avance, et s'élèvent, dans une direction commandée, avec une rampe sinon uniforme du moins continue, jusqu'à la rencontre des cours d'eau auxquels elles doivent emprunter leur débit. L'ingénieur n'est, en général, pas maître d'éviter les obstacles auxquels se heurte leur tracé et rencontre dans leur établissement nombre de problèmes délicats à résoudre. Nous avons donné plus haut, en citant le pont-aqueduc de Montreuillon et le souterrain de la rigole du Noirrieu, des exemples des ouvrages d'art exceptionnels qui peuvent se rencontrer sur les rigoles d'alimentation.

Quoi qu'il en soit, les ouvrages de prise d'eau, les tunnels, les ponts par dessus et par dessous, les aqueducs et ponts-aqueducs, etc., que comportent ces rigoles ne diffèrent des ouvrages similaires des canaux que par les dimensions de la cuvette ; il n'y a pas lieu d'entrer dans de nouveaux détails [1]. Nous nous bornerons à faire remarquer que pour les ouvrages à établir à la rencontre des voies de communication par terre ou des cours d'eau, les rigoles présentent une sujétion de moins que les canaux ; il n'y a pas à ménager, sous les ouvrages supérieurs, un tirant d'air commandé par les besoins de la navigation ; il suffit que l'écoulement de l'eau dans la rigole ne soit pas gêné. Il en résulte de grandes facilités pour maintenir certains écoulements d'eaux d'un volume restreint, mais d'une importance réelle au point de vue des indemnités auxquelles leur suppression pourrait

1. On pourra trouver de nombreux types de ces ouvrages dans le recueil publié par le Ministère des Travaux publics sous le titre : *Atlas des canaux de la France*. Un premier volume de planches a été publié en 1879 ; il contient les dessins des principaux ouvrages du réseau existant au 31 décembre 1878. Postérieurement on a entrepris la publication d'une 2e *série* par fascicules portant tantôt le même titre, tantôt celui d'*Atlas des voies navigables de la France*. Cinq fascicules ont paru, dont trois se rapportent aux canaux, savoir : 1er fascicule, 1885, canal de l'Est ; 2e fascicule, 1893, canal de l'Oise à l'Aisne ; 3e fascicule, 1893, canal du Centre (après sa transformation).

Digitized by Google

donner lieu, d'eaux dirrigation par exemple. Il suffira souvent de simples augets en bois ou en tôle jetés d'une rive à l'autre de la rigole, pour ne pas modifier l'état des choses.

Nous avons dit que le tracé des rigoles avait des exigences inévitables. Quelquefois elles sont établies au flanc de coteaux abrupts et l'on est conduit à maçonner la cuvette sur des portions plus ou moins longues pour lui donner une section rectangulaire qui permet de réduire la largeur. Ailleurs, c'est la perméabilité du sol qui commande le muraillage ou tout autre mode d'étanchement. Les procédés que nous avons examinés à propos des canaux trouvent alors leur application.

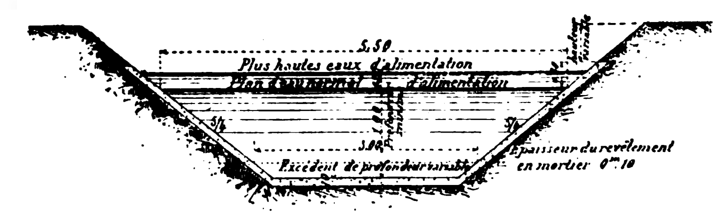


Fig. 43.

C'est ainsi qu'on fait souvent usage sur les rigoles de chemises en béton hydraulique. Seulement, comme il n'y a à redouter ni les chocs et les frottements des bateaux, ni les coups des gaffes et des autres engins des mariniers, on se dispense souvent du revêtement en terre assez difficile à établir et surtout à conserver dans les petites sections des rigoles. On y trouve économie dans le premier établissement et facilités pour l'entretien. La figure 43 montre la section appliquée dans une partie bétonnée de la rigole de Saint-Privé (canal de Briare).

146. Ouvrages d'art spéciaux aux rigoles. — Il convient d'insister davantage sur certains ouvrages d'art qui sont spéciaux aux rigoles et, en premier lieu, sur les siphons que l'on tend de plus en plus à employer pour la traversée des vallées.

Digitized by Google

Autrefois, cette traversée se faisait d'une manière exclusive au moyen de ponts-aqueducs ; mais, quelle que soit l'économie apportée dans la construction, ces ouvrages n'en sont pas moins dispendieux. De plus, ils ont les inconvénients des ponts-canaux, ils sont exposés aux effets de la gelée et subissent les dégradations qui en sont la conséquence inévitable. Ces inconvénients sont d'autant plus graves que les ponts-canaux se trouvent plus éloignés de la voie navigable, souvent dans des contrées peu accessibles, et qu'ils sont par suite d'un entretien et d'une surveillance difficiles.

On tend aujourd'hui, de plus en plus, à y substituer des ouvrages beaucoup plus modestes, mais plus économiques et exempts des inconvénients qne nous venons de signaler. Ce sont de simples tuyaux, posés à la manière des conduites d'eau et enterrés dans le sol, qui épousent la forme de la vallée et réunissent les deux parties de la rigole tracées de chaque côté à flanc de coteau.

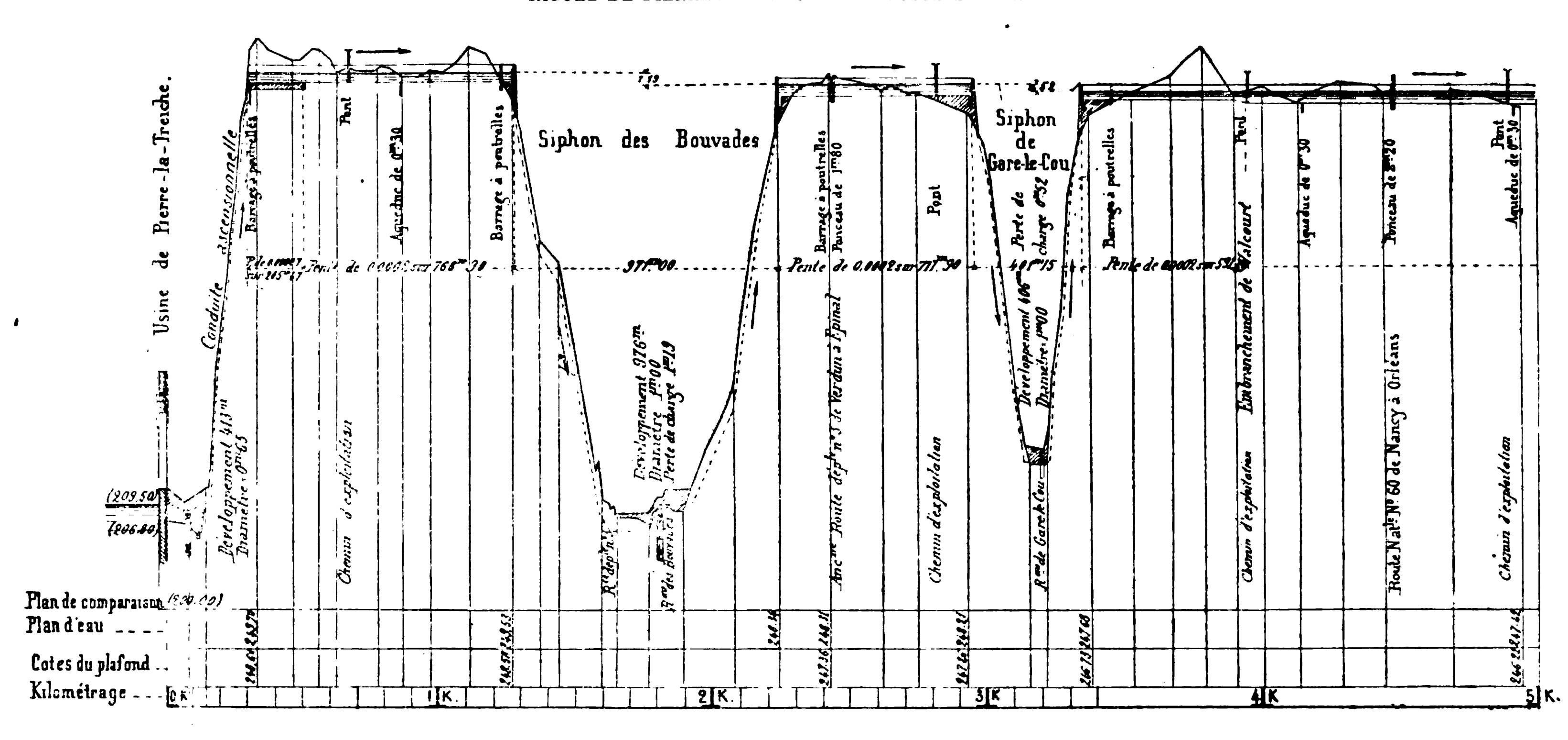
Les eaux s'y écoulent en siphonnant. A la vérité, ce siphonnement produit une perte de charge, qu'il est d'ailleurs facile de calculer dans chaque cas particulier et dont on doit, naturellement, tenir compte dans l'établissement du profil en long général de la rigole (pl. LXX, page 330). Mais il n'est que juste d'observer que l'accroissement de la pente sur les grands ponts-aqueducs et même aux abords, avait, au moins dans une certaine mesure, le même effet.

Les tuyaux peuvent être en tôle, plus souvent en fonte ou en ciment armé, de 0 m. 80 ou de 1 m. de diamètre. Des tuyaux d'un diamètre plus fort sont d'une pose très difficile sur des versants escarpés et donnent lieu en outre à des tassements qui peuvent amener des ruptures quand la conduite est en service.

Si un seul ne suffit pas, on en réunit le nombre nécessaire pour réaliser le débit voulu. Il vaut du reste toujours mieux, à débit égal, avoir deux tuyaux qu'un seul, afin qu'en cas d'accident l'un d'eux puisse suppléer à l'autre, au moins partiellement.

Digitized by Google

RIGOLE DE PIERRE-LA-TREICHE. — PROFIL EN LONG



Pl. LXX. ALIMENTATION DU CANAL DE LA MARNE AU RHIN ET DU CANAL DE L'EST

Dans la construction de ces ouvrages, deux points essentiels sont à signaler : les têtes des siphons et les bondes de fond à ménager dans la partie inférieure.

Les têtes des siphons débouchent dans de larges bassins perreyés servant de cales d'épuration pour le dépôt des matières terreuses tenues en suspension par l'eau. Les tuyaux se raccordent avec les parois de ces bassins par des trompes évasées, ménagées dans de petits murs qui supportent leurs abouts (fig. 44).

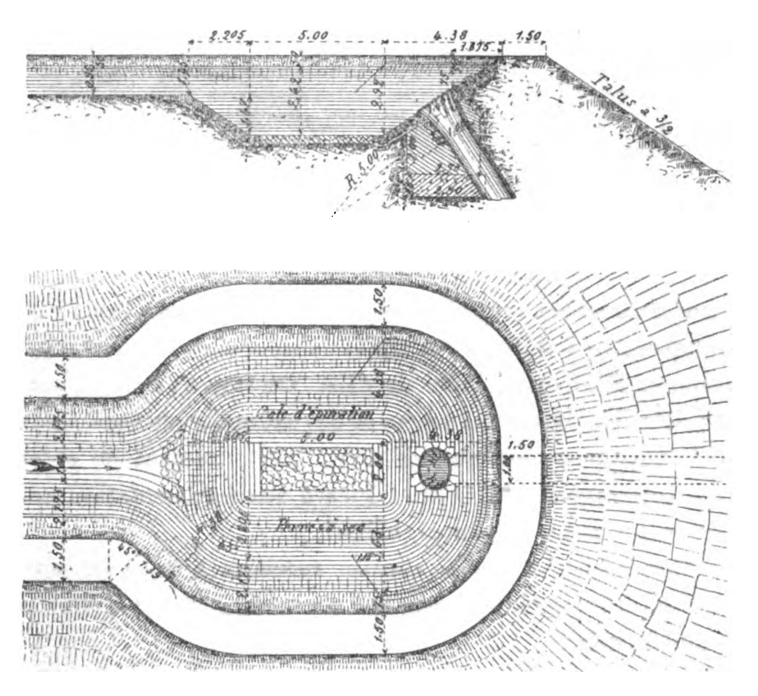


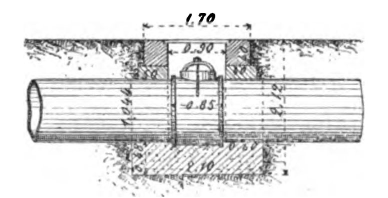
Fig. 44.

Dans un but d'économie, on a été trop souvent tenté de placer ces têtes en remblai ; mais ce remblai est exposé aux infiltrations, il n'offre pas une sécurité suffisante et nous estimons que, même au prix d'une augmentation de dépenses, il convient d'éviter cette disposition qui doit être regardée

Digitized by Google

comme dangereuse. Il vaut mieux laisser la tête en déblai ou tout au moins au niveau du sol naturel.

Quant aux bondes de fond, elles sont placées à la partie inférieure des conduites ; elles servent à les vider en cas d'avarie ou d'accident. Elles sont généralement accompagnées d'un trou d'homme, qui permet à un ouvrier d'y pénétrer pour les visiter et les nettoyer au besoin. Ces trous qui sont fermés par des tampons s'ouvrent dans des regards recouverts au moyen de dalles (fig. 45).



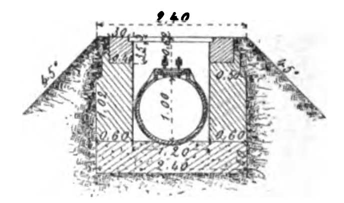


Fig. 45.

Les dispositions représentées dans les figures 44 et 45 sont appliquées aux siphons des rigoles alimentaires du canal de la Marne au Rhin et du canal de l'Est. On trouvera une description détaillée de ces ouvrages et des exemples de tous les travaux auxquels peut donner lieu l'établissement de rigoles dans l'ouvrage de M. Alfred Picard sur l'alimentation commune à ces deux voies navigables [1].

Il faut encore signaler comme spéciaux à la construction des rigoles certains ouvrages qui permettent d'en vérifier facilement le débit.

Les rigoles servant à amener aux canaux l'eau nécessaire à leur alimentation, il faut que l'on puisse, surtout en temps de sécheresse, vérifier si elles remplissent convenablement leur destination. D'où résulte l'utilité de placer, de distance en distance, dans la cuvette ou latéralement, des ouvrages régulateurs permettant, à un instant donné, un jaugeage

1. *Alimentation du Canal de la Marne au Rhin et du Canal de l'Est ;* Paris, 1880 ; J. Rotschild, éditeur.

Digitized by Google

approximatif et rapide, par exemple par déversement sur un petit barrage mobile. On suivra alors, comme on voudra, la marche des eaux ; on reconnaîtra les parties des rigoles qui perdent et l'on trouvera immédiatement les points sur lesquels des recherches doivent être faites ou des travaux d'étanchement exécutés. Ce jaugeage est surtout utile aux points de départ et d'arrivée.

Les dérivations opérées au moyen des rigoles constituent généralement un détournement définitif du cours naturel des eaux ; on devra donc, si on veut éviter le paiement d'importantes indemnités, avoir grandement égard aux droits acquis sur ces eaux et s'abstenir de toute combinaison qui aurait pour résultat d'établir une confusion entre les intérêts de l'Etat et ceux des particuliers.

Quoi qu'il en soit, les rigoles constituent un moyen d'alimentation précieux, non seulement à raison de l'importance des ressources qu'elles procurent, mais encore parce qu'elles permettent d'amener ces ressources précisément au point où elles ont leur emploi. Dans bien des cas, en effet, on pourrait améliorer la situation à ce point de vue en prolongeant les rigoles latéralement au canal, ce qui donnerait la faculté d'alimenter séparément les différents biefs d'un même groupe au lieu de jeter toutes leurs eaux dans le bief de tête. Ainsi se trouverait réalisé, autant que possible, ce *desideratum* de l'exploitation des canaux : *rendre l'alimentation indépendante de la navigation.*

147. Installations mécaniques pour remonter l'eau de bief en bief. — Le procédé qui consiste à remonter l'eau de bief en bief peut être avantageusement utilisé dans certaines circonstances. Nombre d'ingénieurs s'en sont servi, dans des cas de sécheresse exceptionnelle, en employant des installations de fortune, mais on peut citer comme exemple remarquable d'installation permanente celle qui a été créée en 1897, au canal de Bourgogne, pour alimenter les trois derniers biefs

Digitized by Google

du versant de la Saône avec de l'eau prise dans cette rivière et remontée de bief en bief [1].

Les trois biefs en question, longs ensemble de 7 kilomètres, sont ouverts dans une plaine sablonneuse où le canal perd beaucoup d'eau par filtrations, et ils étaient particulièrement difficiles à alimenter comme se trouvant les plus éloignés des dernières prises d'eau possibles dans les rivières ou ruisseaux voisins. La quantité d'eau prise à la Saône pour l'envoyer au canal et répartie entre les trois biefs au prorata de leurs besoins s'élève à 15.000 mètres cubes par jour.

Il existe sur la Saône, à 2 kilomètres en aval de l'embouchure du canal, un barrage dont la chute est de 1 m. 50 en eaux ordinaires et où le débit disponible est toujours d'au moins 10 mc. par seconde ; il y a là une force hydraulique dont on a profité pour établir une usine hydro-électrique.

L'énergie électrique est envoyée aux écluses terminales des trois biefs en question sous forme de courant triphasé à haute tension (2.000 volts). Au droit de chaque écluse est établi un poste de transformateurs qui ramène la tension de 2.000 à 110 volts et ce courant à tension réduite actionne un moteur électrique qui commande une pompe centrifuge. Cette dernière aspire l'eau dans le bief inférieur et la refoule dans le bief supérieur. On peut ainsi remonter, par jour : de la Saône dans le dernier bief du canal (chute 3 m. 70) 15.000 mc. ; du dernier dans l'avant-dernier (chute 2 m. 60) 6.000 ; de l'avant-dernier dans celui qui le précède (chute 2 m. 60) 3.000. Dans ces conditions, les trois biefs peuvent être alimentés pendant la période la plus sèche sans recourir aux eaux provenant de l'amont.

On calcule que la quantité d'eau annuelle fournie au canal par ce procédé sera moyennement d'un million à un million et demi de mètres cubes. L'installation a coûté 80.000 francs.

1. *VIIᵉ Congrès international de navigation*, tenu à Bruxelles, en 1898 ; rapport de M. Galliot, sur l'Élévation mécanique, de bief en bief, des eaux servant à l'alimentation d'un canal.

Digitized by Google

En comptant pour les réparations et l'entretien 2 0/0 du capital de premier établissement, et en ajoutant 400 francs pour frais de personnel, on arrive à une dépense annuelle de 2.000 francs, soit 0 fr. 002 au plus par mètre cube d'eau élevé à une hauteur moyenne de 5 m. 26 [1].

Nous citerons encore les installations faites tout récemment sur le canal de Lens, aux écluses d'Harnes et de Lens (inférieure) pour remonter l'eau du bief d'aval dans le bief amont. De petites usines élévatoires ont été établies à chacune de ces écluses ; les pompes sont actionnées par des moteurs électriques ; l'énergie électrique produite dans une usine centrale appartenant à la Société des houillères de Liévin est fournie gratuitement par cette société qui est le principal usager du canal.

§ 2

CANAUX A POINT DE PARTAGE

148. Importance de la question. — La question de l'alimentation, déjà fort importante sur les canaux latéraux, devient, sur les canaux à point de partage, absolument prépondérante.

Toute autre considération doit lui être subordonnée. Pour exploiter un canal, il faut de l'eau, c'est la première condition; on peut même dire qu'il en faut en quantité abondante et surabondante.

Cette conclusion s'impose quand on voit les mécomptes

1. La hauteur moyenne d'élévation est égale à :

$$\frac{9.000 \times 3,70 + 3,000 \times (3,70 + 2,60) + 3.000\,(3,70 + 2,60 + 2,60)}{15.000} = \frac{78.900}{15.000} = 5 \text{ m. } 26.$$

éprouvés sur les voies navigables construites par les ingénieurs les plus expérimentés. Tantôt, c'est le débit d'étiage des cours d'eaux naturels qui s'est appauvri ; tantôt, une partie de l'eau sur laquelle on croyait pouvoir compter a été distraite pour les irrigations ; d'autres fois le trafic du canal s'est développé au delà des prévisions les plus optimistes, ou bien c'est le mouillage qu'on a dû augmenter pour le mettre en harmonie avec les nouvelles exigences de la batellerie, etc.

Ce qui est certain, c'est que partout on a été amené à accroître, souvent à grands frais, les ressources primitives et que, sur les lignes même les plus importantes, l'alimentation du bief de partage n'est pas toujours assurée d'une manière aussi complète qu'il serait désirable.

Il est, en effet, facile de comprendre que ce bief, situé sur un point culminant, ne dispose plus des ressources que fournit aux canaux latéraux la prise d'eau établie à leur origine et, cependant, il doit satisfaire à des besoins exceptionnels.

En premier lieu, sa consommation propre est en général particulièrement importante. Les biefs de partage sont souvent ouverts dans des rochers fissurés qui laissent passer beaucoup d'eau et, en prévision de dénivellations possibles et des variations dans le mouillage qui en sont la conséquence, le mouillage normal y est plus grand que dans les autres biefs ; d'où, toutes choses égales d'ailleurs, accroissement des déperditions.

D'autre part, les écluses qui terminent le bief de partage sont aussi les écluses de tête des deux versants ; tous les bateaux qui passent d'un versant à l'autre lui empruntent deux éclusées. Si on cherche à calculer la consommation d'eau d'un bief ordinaire, en particulier, on ne doit faire entrer en ligne de compte que la différence entre les consommations des deux écluses terminales ; dans un bief de partage, c'est la somme de ces consommations qu'il faut compter.

Enfin, il doit faire face, sur chaque versant, à la consom-

Digitized by Google

mation des biefs qui le séparent de la première prise d'eau alimentaire sérieuse ; au delà les choses se passent comme dans un canal latéral. Or, dans la partie supérieure des versants, le canal suit d'ordinaire des vallons plus inclinés, plus étroits, plus abrupts, où les sujétions du tracé laissent l'ingénieur moins libre d'éviter les déperditions.

Tels sont les éléments de la consommation d'eau du bief de partage ; la somme de ces éléments constitue le minimum à lui attribuer. Ce minimum sera d'ailleurs largement calculé pour tenir compte des besoins de l'avenir et devra être assuré, même pendant la saison sèche, parce que c'est à la fois l'époque du plus fort trafic et de la plus grande pénurie d'eau.

149. Eaux pérennes. — A la hauteur où se trouve le plus souvent le bief de partage, les sources sont ordinairement faibles l'été et le débit qu'elles donnent insuffisant. Quelles qu'elles soient, cependant, il faut commencer par les utiliser, parce qu'elles constituent l'approvisionnement le plus économique, et la première étude à faire est celle du régime des cours d'eau situés au-dessus du niveau du bief de partage dans la région accidentée qui l'avoisine.

Chacun de ces cours d'eau doit être l'objet de jaugeages aussi prolongés que possible, afin d'en constater le débit, en général, et principalement le volume d'étiage pendant les années les plus sèches ; on a ainsi un aperçu d'un premier approvisionnement d'eau réalisable, en tenant compte, bien entendu, des besoins de la vallée à laquelle doit se faire l'emprunt.

Il arrive fréquemment, en effet, que les cours d'eau qu'on pourrait dériver pour les jeter dans le canal font mouvoir une suite d'usines étagées sur leurs cours et dont la force motrice totale a une valeur considérable. Supprimer ou même modifier ces établissements serait entrer dans une voie dangereuse sous le rapport des indemnités à payer.

On ne doit s'y engager qu'en cas d'absolue nécessité et après

Digitized by Google

s'être sûrement renseigné sur la valeur des usines et sur les titres valables qu'elles peuvent posséder aux termes des règlements administratifs. La liquidation des indemnités dues aux usiniers de la vallée de l'Ornain, à raison des prises d'eau effectuées pour l'alimentation du canal de la Marne au Rhin, offre un exemple des difficultés que l'on peut rencontrer ; elle s'est prolongée pendant plus de 10 années et s'est terminée par une allocation totale d'environ 1.200.000 fr.

Nous ferons une observation analogue en ce qui touche les besoins agricoles, l'irrigation notamment, qu'il serait imprudent de compromettre sous prétexte d'intérêt général et qui trouverait des défenseurs autorisés à tous les degrés de l'échelle hiérarchique.

On s'efforcera donc de ne prendre que les eaux surabondantes ou, si l'on est forcé d'aller au delà, on cherchera à évaluer préalablement sur des données incontestables, à défaut de conventions amiables, le chiffre des indemnités à payer aux ayants droit.

Quoi qu'il en soit, les besoins de l'alimentation sont connus *par jour*; tout au moins connaissons-nous les bases d'après lesquelles nous pouvons nous en rendre compte. D'un autre côté, le volume des eaux pérennes peut être déterminé, également par jour, au moyen des jaugeages dont nous venons de parler. Si on prélève sur ce volume le minimum qu'il est nécessaire de conserver aux différents cours d'eau pour respecter les droits existants, ce qui reste sera l'approvisionnement disponible. Ce reste sera nul, insuffisant ou suffisant et, dans chacun des cas, les eaux pérennes qui alimentent le canal sont dites *basses*, *moyennes* ou *abondantes*. C'est ainsi qu'au canal du Centre, M. Comoy avait trouvé jadis que les eaux pérennes pouvaient être considérées comme étant :

basses pendant. . . . 120 jours,
moyennes — . . . . 85 jours,
abondantes — . . . . 160 jours.

Il en déduisait que le volume d'eau à demander, à l'époque, à d'autres modes d'alimentation s'élevait à :

Digitized by Google

76.000 mc. par jour, pendant	120 jours, soit		9.120.000 mc.
30.000 — —	85 — —		2.550.000 —
Total pour l'année entière . . .			11.670.000 —

Ces eaux pérennes, on est quelquefois conduit à aller les prendre fort loin et, alors, on les amène au bief de partage par une rigole plus ou moins développée. Nous avons cité plusieurs exemples de rigoles établies dans ces conditions, lorsque nous avons traité la question des rigoles d'alimentation dans la première section de ce chapitre.

Lorsque les eaux pérennes sont insuffisantes, la solution à laquelle on a le plus souvent recours, pour parer à cette insuffisance, consiste à recueillir les eaux en excès pendant la saison pluvieuse et à les emmagasiner dans des réservoirs créés à cet effet, où on peut les reprendre, pour les envoyer au canal, pendant la saison sèche.

150. Réservoirs. — La construction des réservoirs doit, vu l'importance du sujet, faire l'objet d'un chapitre spécial. Nous ne nous occuperons ici que de la détermination des quantités d'eau susceptibles d'y être emmagasinées.

Les jaugeages dont il a été parlé plus haut peuvent fournir les éléments de cette détermination. S'ils sont poursuivis pendant toute l'année avec une suffisante continuité, ils feront connaître aussi bien l'excédent susceptible d'être emmagasiné pendant l'hiver que l'insuffisance à laquelle il faut parer pendant la saison sèche.

D'autre part, l'expérience fournit des données intéressantes sur la portion de la pluie tombée dans le bassin tributaire d'un réservoir qui peut être recueillie dans ledit réservoir.

Cette portion dépend, au premier chef, de la perméabilité, par conséquent de la constitution géologique, de la nature du sol du bassin; mais elle varie aussi grandement avec l'état de ce sol, selon qu'il a été soumis à une sécheresse plus ou moins prolongée, ou qu'il est déjà saturé dans une certaine mesure par des pluies antérieures, ou encore qu'il est devenu

Digitized by Google

accidentellement tout à fait imperméable, comme cela peut arriver par l'effet de la gelée. Elle varie aussi avec la nature et l'abondance de la végétation. Il y a donc lieu de compter avec le climat, la saison, la culture, etc.. Il ne faut, d'ailleurs, pas perdre de vue qu'un laps de temps, quelquefois assez long, s'écoule entre le moment de la chute des eaux et celui de leur arrivée dans les réservoirs. Par suite de cette circonstance, il peut se faire que la quantité d'eau recueillie dans un mois, par exemple, soit beaucoup plus considérable que la quantité d'eau tombée dans le même mois. Le rapport de l'eau recueillie à l'eau tombée n'a donc de valeur que s'il est calculé pour une période suffisamment prolongée. Il est tout naturel de le calculer par année.

Il résulte également de ce qui précède que l'on s'exposerait à des mécomptes si, en étudiant un projet de réservoir, on raisonnait par analogie avec ce qui se passe dans un bassin plus ou moins voisin ou similaire, sans avoir de données directes et précises sur le bassin où le nouveau réservoir doit être établi.

Il y a encore lieu de distinguer entre les réservoirs qui recueillent exclusivement et directement les eaux tombées sur les versants des vallées où ils sont établis et ceux qui sont alimentés en partie par les eaux recueillies dans des rigoles tracées à flanc de coteau, sur les versants de vallées autres que celles où sont établis les dits réservoirs. Dans ce dernier cas, le déchet est considérable. C'est ainsi qu'au canal de Bourgogne, la proportion de l'eau recueillie à l'eau tombée atteint 0,34 et 0,35 pour les deux réservoirs du Tillot et de Grosbois qui reçoivent directement les eaux des bassins versants, tandis que, pour les réservoirs qui les reçoivent par l'intermédiaire de rigoles de remplissage, cette proportion descend à 0,24, 0,22, 0,17 et même 0,11.

Sous le bénéfice des explications qui précèdent, on peut dire que, pour les réservoirs qui reçoivent directement l'eau des bassins versants, la proportion de l'eau recueillie à l'eau

Digitized by Google

tombée ne saurait dépasser les 2/3 et ne descend que très exceptionnellement au-dessous de 1/4. Une proportion de 1/3 environ est celle qui répond à la majorité des cas.

On ne saurait *a priori* considérer comme eau *utile*, c'est-à-dire employée à l'alimentation du canal, toute l'eau *recueillie* dans les réservoirs ; il peut y avoir un certain déchet et cela pour plusieurs causes.

Tout d'abord, pour passer des réservoirs dans le canal, l'eau doit suivre des rigoles plus ou moins longues; il y a déperdition en route.

Ensuite, il faut compter que dans les réservoirs mêmes, une certaine partie de l'eau se perd soit par évaporation, soit par imbibition, filtrations, fuites à travers les digues, etc...

L'évaporation est susceptible d'affaiblir *momentanément* les réserves, dans le cas d'une sécheresse intense et prolongée ; mais si on considère une période de quelque durée, une période d'un an, par exemple, elle peut être compensée et même au delà par l'eau de pluie qui tombe sur la surface du réservoir. Nous avons signalé plus haut (page 257) la nécessité de distinguer entre l'évaporation absolue et la perte par évaporation, celle-ci n'étant que l'excès de celle-là sur la hauteur de pluie tombée.

Nous avons également donné quelques résultats des observations faites sur ce sujet dans le service du canal du Nivernais et de la Haute-Yonne.

A la Collancelle, c'est-à dire à proximité des réservoirs de Baye et de Vaux qui alimentent le bief de partage du canal du Nivernais, pendant les cinq années 1891-1895, l'évaporation absolue a été, en moyenne, de 0 m. 488, tandis que la hauteur de pluie tombée a atteint (également en moyenne) 0 m. 757 ; la perte par évaporation a donc été négative. Au lieu de s'abaisser, le plan d'eau, dans un bassin absolument étanche en libre contact avec l'atmosphère, se serait relevé moyennement de 0 m. 269 par an.

Au réservoir des Settons, en 1894, l'évaporation absolue a

Digitized by Google

été de 0 m. 769, mais la hauteur de pluie tombée a atteint 1 m. 410, supérieure de 0 m. 641.

Il n'en est pas moins vrai que, dans le calcul de la quantité d'eau que pourra fournir un réservoir, si la surface même du réservoir est comprise dans celle des bassins versants, il faudra tenir compte de l'évaporation absolue.

La perte par imbibition, filtrations, etc., est généralement très faible attendu que, d'une part, on s'attache à avoir des ouvrages, digues, prises d'eau, etc., aussi parfaitement étanches que possible et, d'autre part, on ne doit rationnellement établir des réservoirs que dans des terrains imperméables ou susceptibles de le devenir entièrement par voie de colmatage.

Un réservoir comme celui de Bairon, sur le canal des Ardennes, susceptible de perdre en un an un volume d'eau à peu près égal à sa capacité (5.000.000 de mètres cubes) et cela par suite de la perméabilité du sol, doit être considéré comme absolument exceptionnel.

Une autre cause de mécomptes, qu'il ne faut pas perdre de vue, consiste dans les envasements, dont la marche est parfois très rapide. C'est ainsi qu'un certain nombre d'étangs, qui servaient jadis à l'alimentation du canal du Centre, ont aujourd'hui complètement disparu ou, au moins, ne sont plus utilisés.

151. Alimentation à l'aide de machines. — Lorsque les eaux pérennes et les réservoirs ne fournissent pas des ressources suffisantes, il faut avoir recours à l'alimentation au moyen de machines.

L'eau peut être relevée mécaniquement de bief en bief (voir plus haut l'article 147, page 333). Mais la combinaison la plus usitée consiste à remonter immédiatement et directement l'eau puisée dans quelque rivière importante jusqu'au bief le plus élevé du groupe dont l'alimentation est en jeu, le plus souvent jusqu'au bief de partage. D'importantes usines

Digitized by Google

hydrauliques et à vapeur sont créées à cet effet et, actuellement, on peut en citer nombre d'exemples en France ; nous nous contenterons de mentionner : parmi les *usines hydrauliques* celles de Condé-sur-Marne pour l'alimentation du canal de l'Aisne à la Marne au moyen des eaux de la Marne, de Pierre-la-Treiche et de Valcourt pour l'alimentation, par les eaux de la Moselle, du canal de la Marne au Rhin et du canal de l'Est, de Bourg-et-Comin pour l'alimentation du canal de l'Oise à l'Aisne au moyen des eaux de l'Aisne ; parmi les *usines à vapeur*, celles de Lille (Saint-André) pour l'alimentation du canal de Roubaix au moyen des eaux des marais de la Deule, de Vacon pour l'alimentation du bief de partage de Mauvages sur le canal de la Marne au Rhin, de Briare pour l'alimentation du canal du même nom au moyen des eaux de la Loire, de Valcourt pour l'alimentation du canal de la Marne au Rhin et du canal de l'Est au moyen des eaux de la Moselle. Cette dernière double l'usine hydraulique mentionnée ci-dessus, devenue insuffisante.

Ce serait sortir du cadre de cet ouvrage que de décrire en détail les machines motrices et les pompes que comportent ces diverses installations ; nous nous attacherons surtout, dans les articles qui vont suivre, à donner des renseignements circonstanciés sur les résultats obtenus, le rendement, le prix de revient de l'eau montée, etc..

152. Alimentation du bief de partage du canal de Briare. — L'alimentation du bief de partage du canal de Briare, compris entre les écluses de la Gazonne (versant de la Loire) et de la Javacière (versant de la Seine), fournit un exemple remarquable de l'application simultanée des divers procédés énumérés ci-dessus ; nous pensons qu'il n'est pas sans intérêt d'en donner ici une monographie succincte. La carte de la région, reproduite dans les planches LXXI, LXXII et LXXIII (pages 345, 347, et 349), permet de suivre plus facilement les explications ci-après.

Digitized by Google

Eaux pérennes. — Le bief de partage reçoit tout d'abord des eaux amenées de la rivière du Loing par une rigole longue de 20.700 mètres, qui est appelée rigole de St-Privé du nom de la localité où se fait la prise d'eau (pl. LXXI). Comme il est indispensable de toujours laisser une certaine quantité d'eau dans la rivière, cette ressource, très abondante en hiver, se réduit à rien ou presque rien dans la saison sèche et ce, nonobstant l'existence sur le cours supérieur du Loing d'un réservoir dit étang de Moutiers (pl. LXXII), d'une capacité de près d'un million de mètres cubes [1], où on peut retenir en hiver des eaux surabondantes, pour soutenir le débit de la rivière en été.

Mais d'importants travaux en cours d'exécution ou seulement décidés en principe vont avoir pour effet d'améliorer considérablement la situation.

On construit, en ce moment, sur le Bourdon, affluent du Loing (pl. LXXII), un réservoir destiné à emmagasiner les eaux qui tombent dans le bassin de cet affluent, réservoir dont la capacité ne sera pas inférieure à huit millions de mètres cubes.

On doit, en outre, au moyen d'une rigole à construire en souterrain sur la plus grande partie de son développement, établir une communication entre l'étang de Moutiers et le réservoir du Bourdon (pl. LXXII), de manière à pouvoir faire passer dans ce dernier une partie des eaux, en excèdent dans le bassin du Loing, que l'exiguïté de l'étang de Moutiers ne permet pas d'y retenir aujourd'hui.

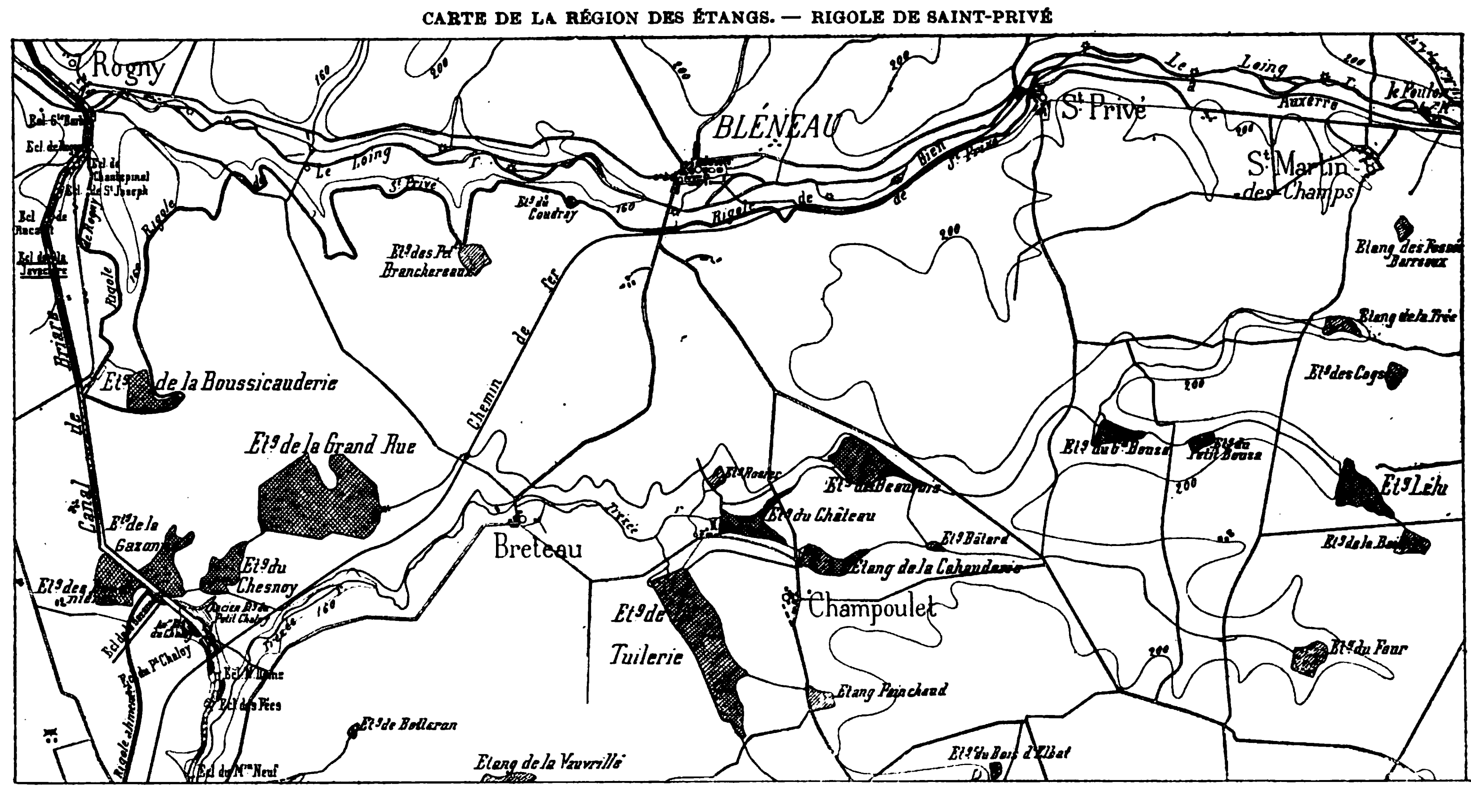
Enfin d'importants travaux de bétonnage (évalués à 660.000 francs) sont actuellement en cours sur la rigole de St-Privé pour réduire autant que possible les pertes d'eau en route qui ne laissaient pas d'atteindre un chiffre élevé.

Quand ces divers travaux seront achevés, les eaux du Loing amenées par la rigole de St-Privé au bief de partage du canal

1. La capacité de l'étang de Moutiers est, exactement, de 937.967 mc ; sa superficie est de 36 hect. 66.

Digitized by Google

CARTE DE LA RÉGION DES ÉTANGS. — RIGOLE DE SAINT-PRIVÉ



Pl. LXXI. ALIMENTATION DU BIEF DE PARTAGE DU CANAL DE BRIARE

Digitized by Google

de Briare formeront pour son alimentation un appoint considérable ; mais cette rigole aura pris un caractère mixte très particulier, puisqu'en définitive elle amènera simultanément des eaux pérennes et des eaux de réservoirs.

Étangs. — D'autres réservoirs, douze étangs, d'une superficie totale de près de 400 hectares et susceptibles d'emmagasiner ensemble plus de dix millions de mètres cubes d'eau [1], concourent directement à l'alimentation du bief de partage du canal de Briare. Ils se trouvent sur le plateau qui sépare les vallées de la Loire et du Loing (pl. LXXI). Les rigoles destinées, d'une part à faciliter leur remplissage, d'autre part à les mettre en communication entre eux et avec le bief de partage, rigoles dont l'entretien est à la charge du service de la navigation, forment un réseau dont le développement total atteint 33.279 mètres.

Usine élévatoire. — Enfin, depuis 1895, le bief de partage du canal de Briare peut recevoir les eaux de la Loire élevées dans une usine établie à Briare (pl. LXXII) et amenées par une rigole de 14.457 m. 50 de longueur, dont 3.420 m. 35 en conduite forcée [2] et 11.037 m. 15 à ciel ouvert. Le cube élevé

1. Voici, en détail, la désignation, la superficie et la capacité de ces divers étangs qui, sur la planche LXXI, se distinguent parce qu'ils sont recouverts de hachures croisées.

		Hect.		Mc.
Etang Lélu.	Superficie	18.88	Capacité	260.007
— du Petit Bouza.	—	5.46	—	41.715
— du Grand Bouza.	—	9.32	—	111.011
— des Beaurois.	—	31.34	—	560.930
— de La Cahauderie.	—	15.44	—	308.195
— du Château.	—	19.17	—	288.080
— de la Tuilerie.	—	76.64	—	2.796.413
— de la Grand'Rue.	—	124.36	—	5.047.990
— du Chesnay.	—	20.61	—	196.345
— de la Gazonne.	—	28.83	—	304.196
— des Boudinières.	—	23.00	—	210.279
— de la Boussicauderie.	—	23.86	—	231.190
		396.91		10.356.351

2. Double conduite en fonte de 0 m. 900 de diamètre comprenant 2.760 m. 70 de conduite ascensionnelle et 659 m. 65 de siphon.

Digitized by Google

CARTE DU COURS SUPÉRIEUR DU LOING ET DU BOURDON

Etang des Neiges
Etang des Foltiers
Etang de Cou-reaux
N° 65
le Poulon
St FARGEAU
Le Loing
Chemin de fer de Gien à Auxerre
St SAUVEUR
Etang de Moutiers
Moutiers
Nationale
Route
Mare du Pt Bois
Etang du Talon
Bourdon
Ancien Etang des Caillots
Etang du Bourdon
Etang de Charmoy
Etang de Chassin
Etang de Guédelon
Réservoir du Bourdon

Pl. LXXII. ALIMENTATION DU BIEF DE PARTAGE DU CANAL DE BRIARE

Digitized by Google

peut atteindre 800 litres par seconde et la hauteur d'élévation, variable avec l'état des eaux en Loire, 43 m. 09.

L'usine comporte quatre machines à vapeur d'une force totale de 640 chevaux qui actionnent autant de groupes de pompes ; ces machines, du genre Compound, sont verticales à deux cylindres accolés.

Chaque machine commande un balancier dont chaque extrémité mène la tige d'une pompe verticale aspirante à simple effet. La course des pistons est de 1 mètre et le diamètre de 0 m. 601 ; la cylindrée a un volume de 276 litres, déduction faite de la tige du piston.

La vapeur est fournie par cinq générateurs semi-tubulaires; leur surface de chauffe est de 120 mètres carrés pour chacun d'eux ; ils sont timbrés à 7 kilogrammes ; trois générateurs suffisent à l'alimentation des quatre machines.

Dans les conditions normales de marche, les pompes ont un rendement de 95 pour 100.

Les machines à vapeur ont également donné d'excellents résultats en ce qui concerne la consommation de combustible. Le chiffre garanti par le constructeur était de 1 kilogramme par cheval et par heure en eau montée, cendres déduites, le combustible d'essai étant la briquette d'Anzin. En pratique, la consommation brute, sans déduire les cendres ni le combustible de l'allumage, ne dépasse pas 1 kil. 055.

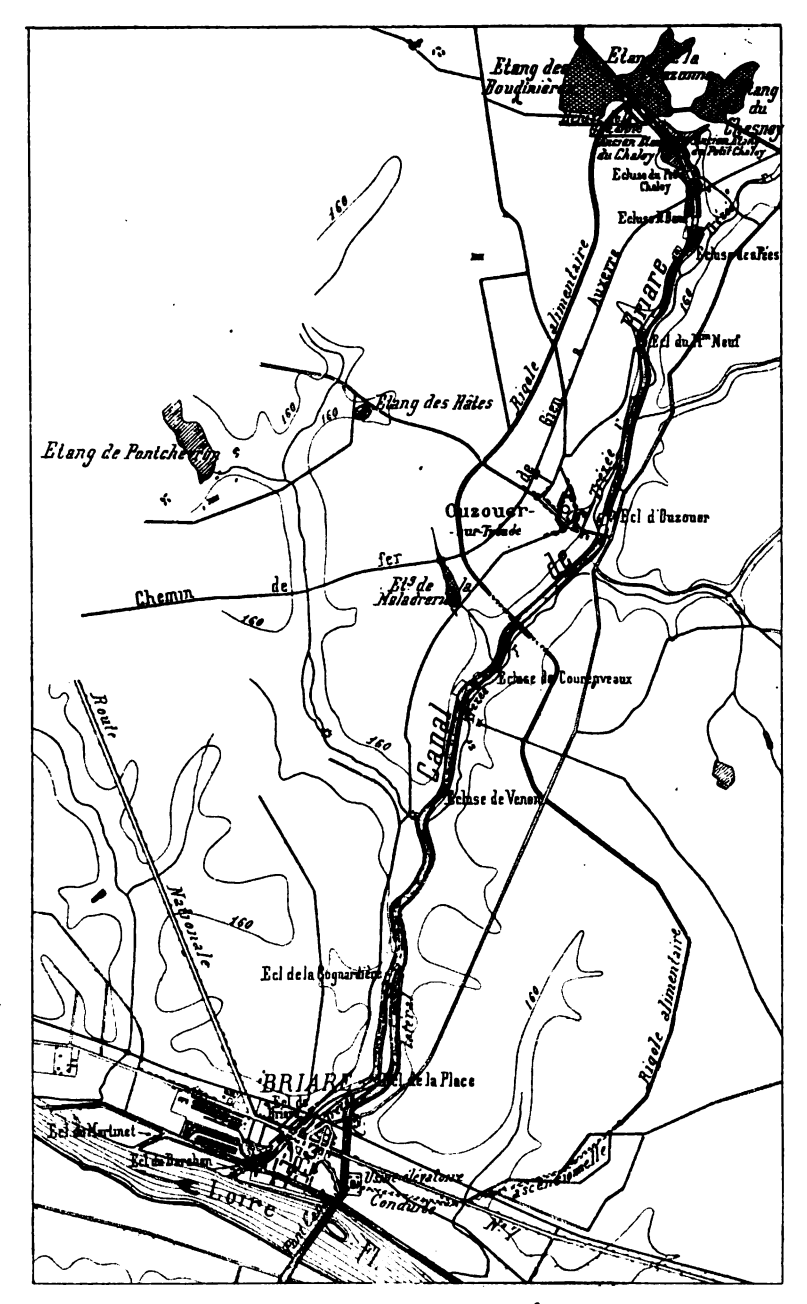
L'appoint fourni par l'usine de Briare à l'alimentation du bief de partage a été en moyenne, annuellement, de 7.734.000 mc. avec une élévation moyenne de 42 m. 39.

Il résulte des relevés de dépenses, faits depuis la mise en marche, que le prix de revient, en dehors des frais de premier établissement, ressort à 0 fr. 204 par 1.000 mètres cubes élevés à 1 mètre, ce qui, pour une hauteur d'élévation de 42 m. 39, correspond à 0 fr. 008677 par mètre cube d'eau arrivant au canal. Si on tient compte des déperditions en route sur la rigole, ce dernier prix s'élève à 0 fr. 009500.

L'alimentation du bief de partage du canal de Briare était

Digitized by Google

CARTE DES ENVIRONS DE BRIARE



Pl. LXXIII. ALIMENTATION DU BIEF DE PARTAGE DU CANAL DE BRIARE

Digitized by Google

devenue tout à fait insuffisante, tant à raison de l'augmentation de la section du canal que par suite du grand développement du trafic ; lorsque les travaux en cours ou décidés en principe seront terminés, elle sera à la hauteur de toutes les éventualités.

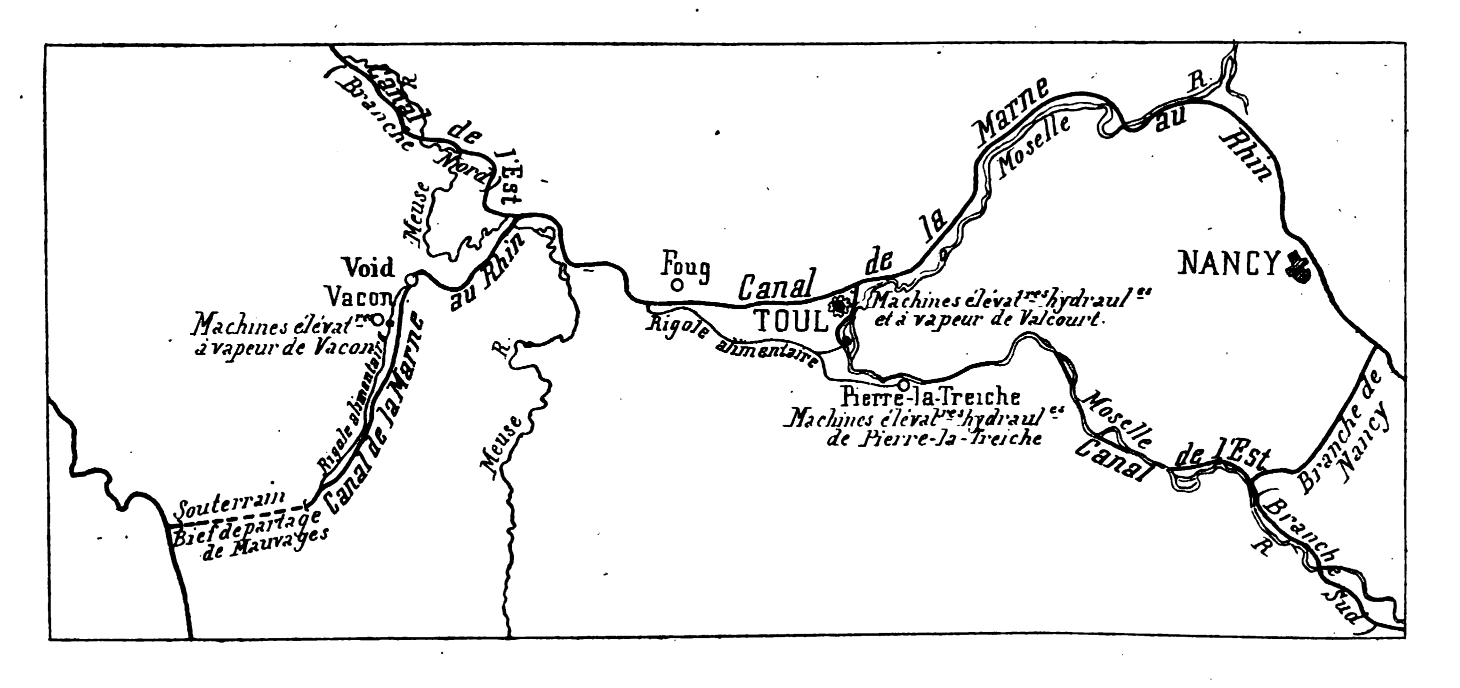
158. Alimentation par machines du canal de la Marne au Rhin et du canal de l'Est. — Le canal de la Marne au Rhin présente un bief de partage dit *de Mauvages*, au passage du faîte séparatif des bassins de la Marne et de la Meuse (pl. LXXIV et pl. LXXV, page 353). A partir du bief de Mauvages, il descend d'une façon continue jusqu'au grand bief de Pagny qui franchit de niveau, non seulement la vallée de la Meuse, mais encore la ligne de partage des eaux entre les vallées de la Meuse et de la Moselle. Au delà du bief de Pagny, il descend vers Toul, puis, en suivant la vallée de la Moselle, jusqu'à Frouard, point à partir duquel il se relève pour remonter la vallée de la Meurthe. Le canal de l'Est aboutit, par sa branche Nord, au bief de Pagny, à Troussey et emprunte le canal de la Marne au Rhin jusqu'à Toul où il s'en détache par sa branche Sud.

L'alimentation par machines de la partie commune aux deux canaux, ainsi que du bief de partage de Mauvages et de ses deux versants, jusqu'à Saint-Joire, sur le versant de la Marne, constitue certainement une des plus importantes parmi les installations de ce genre ; elle mérite une mention particulière.

Tout d'abord deux usines hydrauliques ont été établies sur la Moselle canalisée, en amont de Toul, l'une à *Valcourt*, l'autre à *Pierre-la-Treiche* ; elles utilisent les chutes des barrages de navigation construits pour la canalisation de cette rivière et ont été mises en service en 1880. Postérieurement, une usine à vapeur a été construite à Valcourt, pour suppléer à l'insuffisance des usines hydrauliques en temps de sécheresse ; elle a été mise en service en 1898. Les eaux pui-

Digitized by Google

PLAN GÉNÉRAL



Pl. LXXIV. ALIMENTATION DU CANAL DE LA MARNE AU RHIN ET CANAL DE L'EST

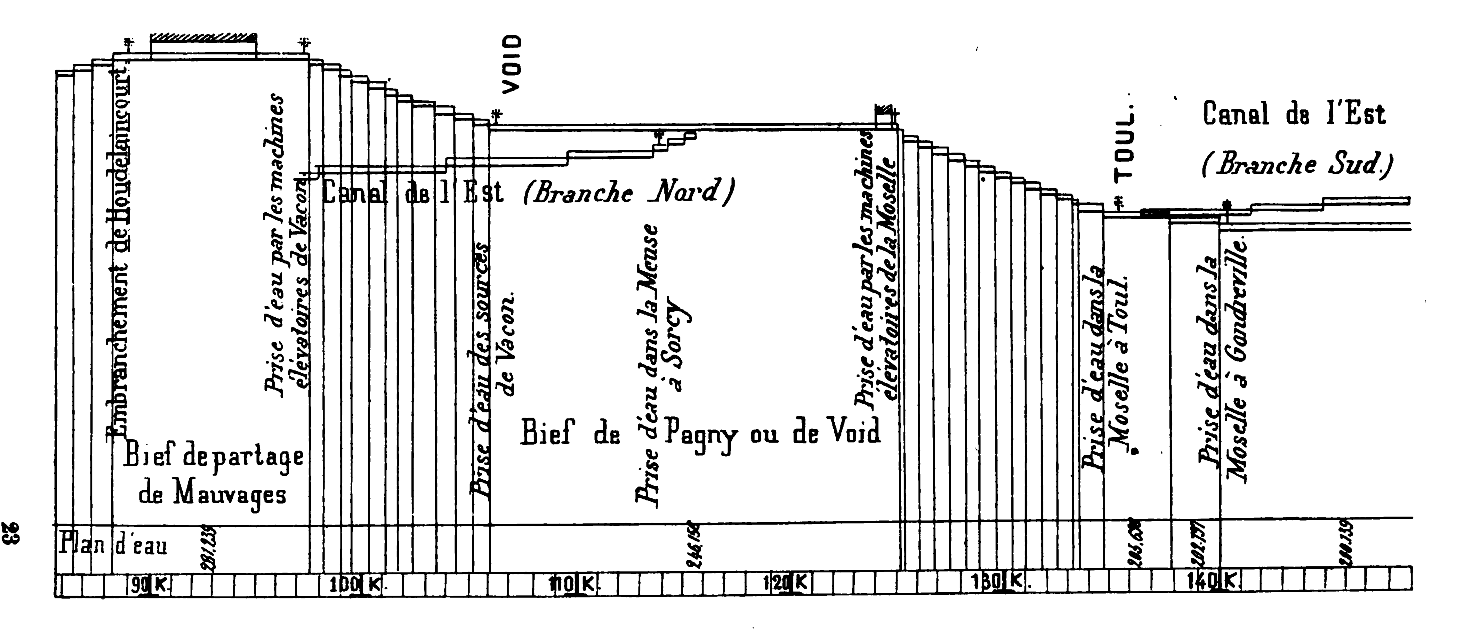
sées dans la Moselle par ce premier groupe de trois usines sont refoulées dans une rigole qui débouche dans le bief de Pagny-sur-Meuse, à son extrémité Est, près de Foug. Le volume fourni par les deux usines hydrauliques est de 50.000 mètres cubes en 24 heures, quand le débit des eaux motrices ne fait pas défaut en rivière. De son côté, l'usine à vapeur est capable de refouler 40.000 mètres cubes par 24 heures. Un volume total de 90.000 mètres cubes peut donc être envoyé journellement dans le bief de Pagny lorsque les installations fonctionnent à leur maximum de puissance.

A l'extrémité opposée du bief de Pagny, près de Void, une usine à vapeur a été créée à Vacon et mise en service en 1880, en vue de puiser dans ce bief, par l'intermédiaire d'une rigole de faible longueur [1], un volume de 40.000 mètres cubes par 24 heures et de le refouler dans une autre rigole qui aboutit au bief de partage de Mauvages. Depuis, la puissance de l'usine à vapeur de Vacon a été portée de 40.000 à 60.000 mètres cubes par l'adjonction d'une nouvelle machine qui a été mise en service en 1898, en même temps que l'usine à vapeur de Valcourt.

En résumé, le premier groupe d'usines prend dans la Moselle et envoie dans le bief de Pagny l'eau nécessaire pour compléter l'alimentation des canaux dans toute la partie comprise entre Saint-Joire (versant de la Marne du canal de la Marne au Rhin) et Toul. Quant à l'usine de Vacon, elle reprend dans le bief de Pagny et envoie dans le bief de partage de Mauvages l'eau nécessaire pour compléter l'alimentation de ce bief ainsi que des deux versants du canal de la Marne au Rhin, jusqu'à Saint-Joire, d'une part, jusqu'à Void, de l'autre.

1. Cette rigole, dont l'établissement remonte à l'époque de la construction du canal de la Marne au Rhin, avait primitivement pour objet de conduire dans le bief de Pagny les eaux provenant de sources importantes qui se trouvent à Vacon. Le plus souvent, aujourd'hui, son rôle est complètement inverse ; elle amène à Vacon, pour être refoulées dans le bief de Mauvages, des eaux provenant du bief de Pagny ou plutôt des eaux de la Moselle déjà refoulées dans ce bief.

Digitized by Google



Pl. LXXV. ALIMENTATION DU CANAL DE LA MARNE AU RHIN

Digitized by Google

Chacune des deux usines hydrauliques de Valcourt et de Pierre-la-Treiche comprend deux turbines Fontaine à libre déviation actionnant, chacune, trois pompes horizontales du système Girard à piston plongeur et à double effet. La connexion des turbines avec les pompes s'effectue directement au moyen d'un arbre coudé ou villebrequin, dont le coude est enveloppé par les colliers des trois bielles de chacun des groupes de pompes. Les six pompes envoient leur produit dans un réservoir d'air central et unique, d'où se détache la conduite ascensionnelle. La force brute maximum de chacune des deux usines hydrauliques est de 300 chevaux. Le rendement utile (en eau montée) est de 0,650 pour les turbines dénoyées et de 0,615 pour les turbines noyées.

L'usine à vapeur de Valcourt comprend : quatre générateurs ordinaires à bouilleurs et réchauffeurs, dont un de rechange ; trois machines à vapeur horizontales ; trois pompes également horizontales placées en prolongement des machines et en connexion directe avec elles. Les machines sont à un seul cylindre à condensation et avec quatre distributeurs circulaires ; leur détente est variable par le régulateur. Les pompes sont du système Girard, à piston plongeur à double effet. Chacune envoie son produit dans un réservoir d'air mis en communication avec la conduite maîtresse de refoulement. La puissance totale de l'usine est de 305 chevaux indiqués. La consommation moyenne de combustible (agglomérés de charbon) par cheval et par heure, en eau montée, est de 1 k. 35.

Les eaux sont refoulées suivant la ligne de plus grande pente du coteau dans des conduites ascensionnelles en fonte qui débouchent dans deux rigoles distinctes, une pour les usines de Valcourt, une pour l'usine de Pierre-la-Treiche. Les deux se réunissent bientôt en une artère commune qui conduit les eaux au bief de Pagny. Le développement total de ces rigoles est de 13,5 kilomètres ; elles comprennent deux siphons importants en fonte (pl. LXX, page 330) et un petit souterrain ; à raison de la perméabilité du sol, elles ont

Digitized by Google

dû, en outre, être bétonnées sur une partie de leur longueur.

La dépense totale s'est élevée à 2.361.753 fr. 88, savoir :

1° Usine hydraulique de Pierre-la-Treiche . . . . . (Machines, 132.200 francs ; bâtiments 114.982 98).	247.182 98
2° Usine hydraulique de Valcourt . . . . (Machines 142.400 francs ; bâtiments, ateliers, magasins, etc., 151.673 37).	294.073 37
3° Usine à vapeur de Valcourt. . . . . (Machines 324.250 francs ; bâtiments 139.836 53).	464.086 53
4° Rigoles, y compris les conduites ascensionnelles . . (Premier établissement et aménagement ultérieur).	1.356.411 »
Total égal	2.361.753 88

L'usine à vapeur de Vacon, du même type que celle de Valcourt, comprend trois machines à vapeur horizontales et trois pompes également horizontales placées en prolongement des machines, en connexion directe avec elles. La puissance totale de l'usine est de 446 chevaux ; la consommation moyenne de combustible (agglomérés de charbon) par cheval et par heure, en eau montée, est de 1 k. 40.

Les conduites ascensionnelles, en fonte, se dirigent à peu près en ligne droite vers le sommet du coteau ; elles débouchent dans une rigole qui se poursuit jusqu'au bief de Mauvages. Par suite de la configuration très accidentée du sol sur lequel elle se développe, cette rigole franchit successivement en siphon cinq vallons secondaires. Sa longueur atteint près de 3 kilomètres dont 900 mètres en siphon. Eu égard à la perméabilité de la roche calcaire dans laquelle elle est ouverte elle est tout entière maçonnée.

La dépense totale s'est élevée à 1.627.172 fr. 55, savoir :

1° Usine à vapeur primitive . . . . (Machines 340.000 francs ; bâtiments, ateliers, etc.., 214.142 13).	554.142 13
2° Nouvelles installations mises en service en 1898 . . (Machines 121.350 francs ; bâtiments 48.113 17).	169.463 17
3° Rigole, y compris les conduites ascensionnelles. . . (Premier établissement et aménagement ultérieur).	903.567 25
Total égal	1.627 172 55

Dans toutes les usines du premier et du second groupe, les seules pompes employées sont du système Girard à piston

Digitized by Google

plongeur ; leur rendement a été trouvé uniformément de 0,98.

Le cube maximum par seconde que les diverses usines sont susceptibles d'élever est de 300 litres à chacune des usines hydrauliques de Pierre-la-Treiche et de Valcourt, de 500 litres à l'usine à vapeur de Valcourt et de 750 à Vacon.

La hauteur d'élévation maximum est de 40 m. 20 à Pierre-la-Treiche, de 40 m. 95 aux deux usines de Valcourt et de 37 m. 05 à Vacon.

Le cube effectivement élevé par an a été en moyenne :

Usine hydraulique de Pierre-la-Treiche. . .	2.492.500 mètres cubes
— de Valcourt	2.458.500 —
Usine à vapeur de Valcourt	1.730.000 —
— de Vacon, primitive . . .	2.586.700 —
— — après extension .	4.467.000 —

Ces moyennes se rapportent : pour les usines hydrauliques à la période de 1892 à 1902 inclusivement ; pour l'usine primitive de Vacon à la période de 1892 à 1897 ; pour l'usine à vapeur de Valcourt et l'usine agrandie de Vacon, à la période de 1898 à 1902. La hauteur d'élévation *effective* correspondante a été, en moyenne :

Usine hydraulique de Pierre-la-Treiche.	40,10 mètres
— de Valcourt	40,65 —
Usine à vapeur de Valcourt.	40,75 —
— de Vacon	36,95 —

Les frais annuels d'entretien et d'exploitation, non compris l'intérêt et l'amortissement du capital de premier établissement ni l'annuité pour le renouvellement des ouvrages susceptibles d'un renouvellement périodique, ont été en moyenne :

Usine hydraulique de Pierre-la-Treiche.	7.200 francs
— de Valcourt	7.800 —
Usine à vapeur de Valcourt	24.000 —
— de Vacon.	46.000 —

Du rapprochement des chiffres ci-dessus on déduit les prix de revient suivants : (*a*) par 1.000 mètres cubes d'eau montée à 1 mètre ; (*b*) par mètre cube d'eau effectivement amené au canal :

Digitized by Google

		francs	francs
Usine hydraulique de Pierre-la-Treiche		(*a*) 0,072	(*b*) 0,0030
—	de Valcourt	0,078	0,0033
Usine à vapeur de Valcourt		0,339	0,0140
—	de Vacon	0,366	0,0139

En déterminant le prix de revient du mètre cube d'eau déversé dans le canal, on a tenu compte des pertes dans les rigoles, pertes évaluées à 1/25 du volume élevé.

Aux abords du bief de partage de Mauvages, les emplacements propres à la construction de réservoirs font absolument défaut ; le sol est partout perméable et les recherches faites à diverses reprises dans cet ordre d'idées sont toujours restées infructueuses. D'autre part, les eaux pérennes sont toutes utilisées et absorbées ; elles ont, d'ailleurs, considérablement diminué depuis la construction du canal de la Marne au Rhin. Autrefois elles fournissaient journellement en saison sèche 70.000 mètres cubes ; mais par suite de l'appauvrissement général des débits d'étiage, elles sont descendues à 30.000 et même 25 000 mètres cubes par jour.

L'emploi de machines élévatoires s'imposait donc avec un caractère d'impérieuse nécessité dans l'espèce ; on peut dire qu'il n'y avait pas d'autre solution possible. Dans des cas semblables, ces machines offrent une ressource précieuse qui a rendu et rendra encore bien des services pour l'alimentation des canaux.

151. Autres exemples d'alimentation par machines. — En ce qui concerne les autres usines élévatoires mentionnées plus haut (page 343) nous nous contenterons de renseignements plus sommaires.

Usine hydraulique de Condé-sur-Marne. — Cette usine, qui refoule les eaux de la Marne dans le bief de partage du canal de l'Aisne à la Marne, a été mise en service en 1869. Elle comporte des turbines Kœchlin à axe vertical, actionnant des pompes verticales aspirantes et foulantes à double effet. La puissance totale maximum est de 400 chevaux, mais on n'en

Digitized by Google

emploie en moyenne que 280. L'usine marche d'une façon continue ; dans son ensemble (moteurs et pompes), elle a un rendement utile (en eau montée au bief de partage) de 0,55.

La dépense totale s'est élevée à 2.855.000 francs, savoir :

1° Machines.	490.000	»
2° Bâtiments de l'usine.	435.000	»
3° Amenée des eaux motrices à l'usine et adduction des eaux élevées au canal.	1.930.000	»
Total égal . . .	2.855.000	»

Le cube maximum par seconde que l'usine est susceptible d'élever est de 1.200 litres, la hauteur d'élévation maximum de 19 m. 30.

Le volume effectivement élevé pendant les huit années 1895 à 1902 a été, en moyenne, de 23.000.000 de mètres cubes par an en 360 jours de travail, soit de 63.889 mètres cubes par jour et de 740 litres par seconde. La hauteur d'élévation effective correspondante a été, en moyenne, de 18 m. 90.

Les frais annuels d'entretien et d'exploitation, non compris l'intérêt et l'amortissement du capital de premier établissement ni l'annuité pour le renouvellement des portions d'ouvrages susceptibles d'un renouvellement périodique, a été, en moyenne, de 18.900 francs.

Des chiffres ci-dessus on déduit les prix de revient suivants : (*a*) par 1.000 mètres cubes d'eau montée à 1 mètre de hauteur effective, 0 fr. 040 ; (*b*) par mètre cube d'eau effectivement amené au canal, 0 fr. 000728.

Usine hydraulique de Bourg-et-Comin. — Mise en service en 1890, cette usine refoule les eaux de l'Aisne dans le bief de partage du canal de l'Oise à l'Aisne. Des turbines à axe vertical, du système Girard, y actionnent des pompes horizontales à double effet, à piston plongeur, également du système Girard. La puissance totale est de 500 chevaux au maximum, mais on n'en emploie, en moyenne, que 300. L'usine ne marche généralement que pendant 16 heures sur 24 ; dans son ensemble (moteurs et pompes), elle a un rendement utile (en eau montée au bief de partage) de 0,54.

Digitized by Google

Les dépenses se sont élevées en tout à 4.268.000 francs, savoir :

1° Machines	360.000 »
2° Bâtiments de l'usine	554.000 »
3° Amenée des eaux motrices à l'usine et adduction des eaux élevées au canal	3.354.000 »
Total égal . . .	4.268.000 »

Le cube maximum par seconde que l'usine est susceptible d'élever est de 1.500 litres, la hauteur d'élévation maximum de 16 m. 70.

Le volume effectivement élevé pendant les huit années 1895 à 1902, a été en moyenne de 18.000.000 de mètres cubes par an en 330 jours de travail, soit de 54.545 mètres cubes par jour et de 947 litres par seconde. La hauteur d'élévation effective correspondante a été, en moyenne, de 16 m. 40.

Les frais annuels d'entretien et d'exploitation, non compris l'intérêt et l'amortissement du capital de premier établissement ni l'annuité pour le renouvellement des portions d'ouvrages susceptibles d'un renouvellement périodique, a été, en moyenne, de 14.500 francs.

Des chiffres ci-dessus on déduit les prix de revient suivants : (*a*) par 1.000 mètres cubes d'eau montée à 1 mètre de hauteur effective, 0 fr. 045 ; (*b*) par mètre cube d'eau effectivement amenée au canal 0 fr. 000806.

Usine à vapeur de Saint-André, à Lille. — Cette usine qui refoule les eaux de la Deule ou, plus exactement, les eaux des marais de la Deule, dans le bief de partage du canal de Roubaix a été mise en service en 1878.

Elle comprenait d'abord trois machines à balancier à deux cylindres du système Woolf, à détente Farcot, actionnant chacune deux pompes verticales aspirantes et foulantes. La puissance totale des trois machines ensemble est de 150 chevaux indiqués. La consommation moyenne de combustible par cheval et par heure, en eau montée, qui était à l'origne de 1 k. 500 à 1 k. 600, s'est élevée, un moment, par suite du sur-

Digitized by Google

menage des machines, jusqu'à 2 k. 670, en marche industrielle; mais depuis lors, on a pu entreprendre la restauration complète des trois machines primitives.

En effet, en 1901, l'usine a été augmentée d'une machine horizontale compound à détente Corliss dont chacun des pistons actionne une double pompe horizontale à piston plongeur du système Girard. La puissance de cette nouvelle machine est de 141 chevaux indiqués. La consommation moyenne de combustible, en marche industrielle, est de 1 k. 428 par cheval et par heure, en eau montée. Le combustible employé se compose de 2/3 fines maigres et 1/3 fines grasses ; il contient de 15 à 20 0/0 de cendres ; on tient compte du charbon nécessaire à la couverture du feu le soir et à la mise en pression le matin.

La dépense totale s'est élevée à 859.935 fr. 42 savoir :

1° Machines	Machines à balancier	259.000 »
	Machine Corliss	109.510 »
2° Bâtiments de l'usine y compris les conduites ascensionnelles.		491.425 42
	Total égal	859 935 42

Les pompes verticales, aspirantes et foulantes, établies en premier lieu, ont un rendement, en volume, de 79,9 0/0; celui des pompes horizontales à piston plongeur du système Girard a été trouvé de 97,7 0/0.

Le cube maximum par seconde que l'usine est susceptible d'élever est de 670 litres par seconde, mais grâce à la multiplicité des machines, il est possible de fractionner cette puissance suivant les exigences de l'alimentation, les machines restant toujours dans de bonnes conditions de fonctionnement.

La hauteur d'élévation maximum est de 19 m. 47.

Le volume effectivement élevé pendant les sept années 1896 à 1902 a été, en moyenne, de 5.431.813 mètres cubes par an. La hauteur d'élévation effective ne diffère pas de la hauteur maximum ; elle est de 19 m. 47.

Les frais annuels d'entretien et d'exploitation, non compris

Digitized by Google

l'intérêt et l'amortissement du capital de premier établissement ni l'annuité pour le renouvellement des portions d'ouvrages susceptibles d'un renouvellement périodique, ont été, en moyenne, de 41.864 francs.

Les prix de revient qui en résultent sont les suivants : (*a*) pour 1.000 mètres cubes d'eau montée à 1 mètre de hauteur effective, 0 fr. 396 ; (*b*) par mètre cube d'eau effectivement amené au canal, 0 fr. 007707.

155. Observations générales sur l'alimentation des canaux au moyen de machines. — Les chiffres les plus intéressants relatifs aux diverses installations que nous venons de passer en revue[1] ont été groupés dans deux tableaux, un pour les usines hydrauliques, l'autre pour les usines à vapeur.

Pour les usines hydrauliques, le prix par 1.000 mètres cubes d'eau élevés à 1 mètre de hauteur effective varient de 0 fr. 040 (Condé-sur-Marne) à 0 fr. 073 (Valcourt) ; les prix par mètre cube effectivement amené au canal sont pour les mêmes usines de 0 fr. 000728 et de 0 fr. 003300. Ces derniers varient, comme on voit, dans d'énormes limites suivant le volume d'eau total élevé.

Pour les usines à vapeur, le prix par mètre cube effectivement amené au canal varie de 0 fr. 007707 (St-André) à 0,0139 (Vacon) ; le prix par 1.000 mètres cubes d'eau élevés à 1 mètre de hauteur effective, de 0 fr. 204 (Briare) à 0 fr. 396 (St-André).

1. Ces chiffres sont dus à l'obligeance des ingénieurs en chef des divers services intéressés ; nous nous faisons un devoir de leur renouveler ici tous nos remerciements.

Digitized by Google

1° Usines hydrauliques

	USINE de Condé-s.-Marne	USINE de Pierre-la-Treiche	USINE de Valcourt	USINE de Bourg-et-Comin
Année de mise en service.	1869	1880	1880	1890
Nature des moteurs .	Turbines Kœchlin à axe vertical.	Turbines Fontaine à libre déviation.	Turbines Fontaine à libre déviation.	Turbines Girard à axe vertical.
Nature des pompes. .	Pompes verticales aspirantes et foulantes à double effet.	Pompes horizontales à double effet, à piston plongeur du système Girard.	Pompes horizontales à double effet, à piston plongeur du système Girard.	Pompes horizontales à double effet, à piston plongeur du système Girard.
Puissance totale de l'usine.	400 chevaux	300 chevaux	300 chevaux	500 chevaux
Volume d'eau maximum susceptible d'être élevé, par seconde.	1.200 litres	300 litres	300 litres	1.500 litres
Hauteur d'élévation maximum	19 m. 30	40 m. 20	40 m. 95	16 m. 70
Dépenses de premier établissem. Machines. .	430.000 fr.	132.000 fr.	142.400 fr.	360.000 fr.
Dépenses de premier établissem. Bâtiments .	435.000 fr.	114.982 fr.98	151.673 fr.37	554.000 fr.
Dépenses de premier établissem. Canaux d'amenée des eaux motrices, conduites de refoul. et rigoles .	1.930.000 fr.	350.667 fr.95	742.075 fr.70	3.351.000 fr.
Volume effectivement élevé par an	23.000.000 mc.	2.492.500 mc.	2.458.500 mc.	18.000.000 mc.
Hauteur d'élévation effective moyenne	18 m. 90	40 m. 10	40 m. 65	16 m. 40
Rendement des pompes en volume	95 0/0	98 0/0	98 0/0	99 0/0
Rendement utile de l'ensemble de l'usine . . .	55 0/0	61,5 à 65 0/0	61,5 à 65 0/0	54 0/0
Frais annuels d'entretien.	18.000 fr.	7.200 fr.	7.300 fr.	14.500 fr.
Prix de revient (a) par 1.000 mc. à 1 m de h. effective.	0 fr. 040.	0 fr. 072	0 fr. 078	0 fr. 045
Prix de revient (b) par mc. effectivem. amené. . .	0 fr. 000728	0 fr. 003000	0 fr. 003300	0 fr. 000806

Digitized by Google

2° Usines à vapeur.

	USINE de St-André (Lille)	USINE de Vacon	USINE de Briare	USINE de Valcourt
Année de mise en service.	1878 et 1901	1880 et 1898	1895	1898
Nature des machines et des pompes.	Machines à balancier du système Woolf avec pompes verticales aspirantes et foulantes. Machine Corliss avec pompes horiz. du syst. Girard.	Machines horizontales à condensation et à détente variable et pompes horizontales du système Girard	Machines verticales à balancier à deux cylindres accolés genre Compound. Pompes verticales aspirantes à simple effet.	Machines horizontales à condensation et détente variable et pompes horizont. du système Girard.
Puissance des machines en chevaux indiqués .	291 chevaux	446 chevaux	640 chev. (1)	305 chevaux
Volume d'eau maximum susceptible d'être élevé, par seconde.	670 litres	750 litres	800 litres	800 litres
Haut. d'élévation maxim.	19 m. 47	37 m. 05	43 m. 09	40 m. 95
Dépenses de premier établissem. — Machines. .	368.510 fr.	461.350 fr.	573.684 fr. 40	324 250 fr.
Dépenses de premier établissem. — Bâtiments. .	491.425f42 (2)	262.255 fr.30	610 807f51 (3)	139.836 fr.53
Dépenses de premier établissem. — Canaux d'amenée, conduites de refoulement et rigoles. . .	»	903.567 fr.25	(4) 1.626.906f59	263.667 fr.35
Vol. effectiv. élevé par an.	5.431.813 mc.	4.467.000 mc.	7.734.000 mc.	1.730.000 mc.
Haut. d'élév. effect. moy.	19 m. 47	36 m. 95	42 m. 39	40 m. 75
Rendem. des pomp. en vol.	79,9 et 97,7 0/0	93 0/0	95 0/0	98 0/0
Consom. de combust. par cheval et par heure, en eau montée	1k428 à 1k600	1 k. 400	1 k. 055	1 k. 350
Frais annuels d'entretien et d'exploitation. . . .	41.864 fr.	46.000 fr.	67.105 fr. 66	24.000 fr.
Prix de revient — (a) par 1.000 mc. à 1 m. de haut. effect.	0 fr. 396	0 fr. 366	0 fr. 204	0 fr. 339
Prix de revient — (b) par mc. effectivement amené . . .	0 fr. 007707	0 fr. 013900	0 fr. 009500	0 fr. 014000

(1) Puissance effective.
(2) Y compris les conduites de refoulement ; canal d'amenée existant.
(3) Y compris l'établissement d'une gare d'eau avec pont tournant et le souterrain de prise d'eau en Loire.
(4) Ce chiffre est grevé de la totalité des frais d'étude et des acquisitions de terrains.

Digitized by Google

Quoi qu'il en soit, les exemples d'alimentation de canaux au moyen de machines (il y en a d'autres encore que ceux mentionnés ci-dessus) se multiplient dans notre pays.

Le temps n'est plus, croyons-nous, où l'on reprochait à cette solution d'introduire la mécanique, avec toutes les sujétions qu'elle comporte, dans l'exploitation des voies de navigation intérieure. C'est qu'en effet, à l'heure actuelle, la mécanique a conquis droit de cité dans toutes les branches de cette exploitation. On la trouve dans les ascenseurs et les plans inclinés, dans les installations destinées à rendre plus rapides et plus faciles les manœuvres des écluses et des barrages, dans la traction des bateaux même sur les canaux, etc. ; et ce pour le plus grand bien de l'industrie des transports par eau.

A l'alimentation par machines, on reprochait encore son défaut d'élasticité. Ici, il faut s'entendre. Assurément, si on considère une machine isolée et si, comme de juste, on tient à ne la faire fonctionner que dans de bonnes conditions, la quantité d'eau qu'elle est susceptible d'élever ne peut varier que dans des limites assez étroites; mais, dans une même usine, on peut grouper plusieurs machines qui permettent de réaliser des combinaisons variées multiples.

L'usine de Saint-André, à Lille, peut être citée en exemple, à ce point de vue. Avec ses trois machines du système Woolf de 50 chevaux chacune et sa machine Corliss de 141 chevaux, elle peut à volonté élever 109, 218, 335, 444, 553 ou 670 litres d'eau par seconde, tout en faisant marcher les machines en service dans les conditions qui en assurent le meilleur fonctionnement.

Une question très importante, on le conçoit de reste, est celle de la durée de ces installations mécaniques. En ce qui concerne les usines hydrauliques, nous devons à l'obligeance de M. l'ingénieur en chef Bourguin de très intéressants détails sur l'usine de Condé-sur-Marne. *A Condé*, nous écrivait-il le 27 mars 1903, *les machines sont en service depuis 33 ans et tout est en parfait état; en dehors des dépenses d'entre-*

Digitized by Google

tien courant, on a eu seulement à remplacer dans ces dernières années les pièces en bronze : clapets des pompes, coussinets des arbres, etc..

Le remplacement a été effectué de 1892 à 1902, moyennant une dépense totale de 10.000 francs ; les pièces primitives avaient donc duré 27 ans en moyenne ; les nouvelles ont été faites en bronze plus dur et dureront probablement plus longtemps. Si on table sur une durée de 30 ans, la somme de 10.000 francs répartie sur ces trente années correspondrait à une charge annuelle de 333 fr. 33. Si, au contraire, on cherche l'annuité qui, par le jeu des intérêts composés à 3 0/0, reproduirait en trente ans la somme de 10.000 francs, elle se réduit à 210 francs.

Pour le reste, ajoutait M. Bourguin, *machines, bâtiments, terrassements et ouvrages d'art, avec un bon entretien, la durée paraît devoir être pour ainsi dire indéfinie.*

En résumé, en se plaçant au point de vue industriel, à celui d'une compagnie concessionnaire, par exemple, on arrive à cette conclusion que l'annuité à prévoir pour former un fonds de renouvellement, en prévision du remplacement périodique de certains ouvrages ou parties d'ouvrages, est, dans le cas d'usines hydrauliques, extrêmement faible et véritablement négligeable en comparaison de celle qu'exigent l'intérêt et l'amortissement du capital de premier établissement.

En ce qui concerne les usines à vapeur, l'usine de Saint-André, à Lille, donne lieu également à des observations intéressantes, au moins pour ce qui est des installations primitives, des trois machines du système Woolf dont la mise en service remonte au 1er janvier 1878.

En 1896, il a fallu remplacer les réchauffeurs latéraux des générateurs, moyennant une dépense de 17.000 francs, en nombre rond, et MM. les ingénieurs du service estiment qu'un nouveau remplacement de ces réchauffeurs pourra être encore nécessaire avant d'arriver au terme de la durée totale de 50 années qu'ils attribuent aux générateurs.

Digitized by Google

D'autre part les machines, au bout de 25 ans de service, étaient arrivées à un état de fatigue qui se traduisait, ainsi que nous l'avons indiqué plus haut (page 360), par une consommation excessive de combustible ; on a procédé à leur restauration systématique, en commençant par la plus fatiguée ; la dépense est évaluée à 12.000 francs par machine, soit 36.000 francs en tout. Moyennant cette dépense les machines à balancier seront remises en parfait état, seront à l'état de neuf et pourront donner encore un service de 25 années avant qu'on ait à les reprendre. Mais, au bout de ces 25 années, la mise hors de service définitive des machines sera probablement préférable à de nouvelles réparations, si bien qu'au bout de 50 ans la réfection totale de la partie primitive des installations de l'usine Saint-André s'imposera.

Ces prévisions des ingénieurs nous paraissent plutôt pessimistes. En effet, durant la période qui a précédé 1901, époque de l'établissement de la machine Corliss, l'usine de Saint-André a fonctionné dans des conditions particulièrement mauvaises. Le développement de la navigation sur le canal de Roubaix ayant été beaucoup plus rapide qu'on ne le pensait, les exigences de l'alimentation ont très vite dépassé les prévisions ; l'allure des machines a été forcée ; elles ont marché presque sans interruption et, dans tous les cas, il a été impossible d'en mettre aucune au repos pendant le temps indispensable pour procéder à un démontage complet et aux travaux de grand entretien devenus nécessaires. Il n'en sera plus de même maintenant que la puissance de l'usine a été doublée. Une fois qu'elles auront été complètement remises à neuf, les machines à balancier n'auront plus à subir les mêmes fatigues que par le passé et il est permis de penser que leur nouveau service aura une durée supérieure à 25 ans.

Les prévisions des ingénieurs constituent donc, à notre avis, une limite, le maximum de ce qu'on peut redouter ; or elles se traduisent par les chiffres de dépenses suivants pour une période de cinquante ans.

Digitized by Google

Chaudières	Deux remplacements des réchauffeurs . . .	34.000 fr.
	Matériel neuf à l'expiration de la période . .	54.000 —
Machines	Remise complète en état	36.000 —
	Matériel neuf à l'expiration de la période . .	205.000 —
	Total. .	329.000 fr.

Cette somme répartie sur cinquante années correspond à une charge annuelle de 6.580 francs soit 2,54 0/0 du capital de premier établissement. Si, au contraire, on cherche l'annuité qui, par le jeu des intérêts composés à 3 0/0, formerait un fond de renouvellement suffisant pour faire face aux dépenses indiquées ci-dessus, elle se réduirait à 3 000 francs environ, soit un peu plus de 1 0/0 du même capital.

On peut encore, de l'exemple de l'usine de Saint-André, tirer cette double conclusion : 1° qu'il sera prudent de prévoir très largement, dès le début, les installations mécaniques destinées à l'alimentation d'un canal ; 2° qu'il sera sage de les développer dès que les machines seront exposées à fonctionner dans des conditions différentes de celles d'une marche normale.

Dernière remarque. Les usines alimentaires établies sur des cours d'eau importants, dont une faible partie du débit est seule envoyée au canal, sont toujours sûres d'y trouver toute l'eau que les machines peuvent élever; mais s'il s'agit d'usines hydrauliques, elles ne sont pas toujours sûres d'y trouver la force motrice qu'exigent ces machines. C'est là une considération qui peut, suivant les cas, conduire à préférer les machines à vapeur aux machines hydrauliques ou, au moins, à adjoindre à ces dernières des machines à vapeur.

156. Prix de revient des eaux pérennes amenées au moyen de rigoles. — Les rigoles du Noirrieu et de l'Oise fournissent annuellement au bief de partage du canal de Saint-Quentin un volume d'eau qui, pour la période décennale 1893-1902, s'est élevé à 40.100.000 mètres cubes. Pendant la même période, le montant annuel moyen des dépenses d'entretien et d'exploitation de l'ensemble des deux rigoles,

Digitized by Google

a été de 20.950 francs. Le prix de revient, par mètre cube d'eau effectivement amené au canal, a donc été de 0 fr. 000522, non compris l'intérêt et l'amortissement du capital de premier établissement qui, d'ailleurs, est inconnu, au moins pour la rigole du Noirrieu.

Pendant la même période, la rigole d'Yonne a amené au bief de partage du canal du Nivernais 16.063.175 mètres cubes d'eau par an, en moyenne; les frais annuels d'entretien et d'exploitation se sont élevés moyennement à 12.587 fr. 67; le prix de revient par mètre cube a donc été de 0 fr. 000784, toujours non compris l'intérêt et l'amortissement du capital de premier établissement.

Ce capital est connu pour la rigole d'Yonne; il s'élève à 1.176.855 fr. 73. Si on compte 4 0/0 pour l'intérêt et l'amortissement ensemble, l'annuité correspond à 0 fr. 00293 par mètre cube d'eau effectivement amené au canal.

Quoi qu'il en soit, les prix ci-dessus de 0 fr. 000522 et 0 fr. 000784 se rapprochent singulièrement de ceux qui ont été relevés plus haut (tableau de la page 362) pour les usines hydrauliques de Condé-sur-Marne et de Bourg-et-Comin (0 fr. 000728 et 0 fr. 000806); le fait méritait d'être mis en lumière.

Digitized by Google

CHAPITRE VIII

RÉSERVOIRS

§ 1

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

157. Objet des réservoirs. — Dans le chapitre précédent, en traitant de l'alimentation des canaux à point de partage, nous avons exposé que la solution à laquelle on avait le plus souvent recours, pour suppléer à l'insuffisance des eaux pérennes, consistait à recueillir les eaux en excès pendant la saison pluvieuse et à les emmagasiner dans des réservoirs créés à cet effet, où on pouvait les reprendre pour les envoyer au canal, pendant la saison sèche (page 339).

Nous nous sommes d'ailleurs borné à montrer comment on pouvait se rendre compte de la quantité d'eau susceptible d'être recueillie dans une vallée ou dans une portion de vallée donnée, en remettant au présent chapitre tout ce qui concerne l'établissement même des réservoirs.

L'établissement d'un réservoir consiste essentiellement dans la construction d'une digue qui barre une vallée et qui retient les eaux dans le bassin créé à l'amont.

158. Choix de l'emplacement. — Si on veut qu'il soit à même de remplir son objet, un réservoir doit être établi à une altitude telle que ses eaux puissent être amenées, par la

Digitized by Google

simple gravité, au plus élevé des biefs de la portion de canal dont l'alimentation est en jeu. Il faut, de plus, que le sol de la vallée soit suffisamment imperméable pour que les eaux puissent être conservées sans déperdition notable par infiltrations ou imbibition. Ce sont les deux conditions primordiales.

Ceci posé, l'emplacement idéal se trouvera dans une partie de vallée où, immédiatement à l'amont d'un resserrement favorable à l'exécution de la digue, se produit un élargissement prononcé permettant l'emmagasinement d'un volume d'eau considérable. Une disposition de ce genre se rencontrera fréquemment au point de jonction de deux ou plusieurs vallées.

Encore faudra-t-il que les terrains qui devront être recouverts par les eaux, et qu'il sera nécessaire d'acheter, ne soient pas d'une trop grande valeur, ne comprennent pas trop d'habitations, de bâtiments d'exploitation, d'usines. En dehors même de la question de dépenses, on n'oserait guère présenter le projet d'un réservoir dont la construction aurait pour effet la suppression d'un centre habité d'une certaine importance. D'autre part, on hésitera souvent à placer un réservoir immédiatement en amont d'une agglomération notable, par crainte des désastres qui pourraient résulter d'une rupture éventuelle de la digue.

On voit que les considérations auxquelles il importe d'avoir égard dans le choix de l'emplacement d'un réservoir sont nombreuses et variées ; les premières indications seront très utilement fournies par l'examen attentif de cartes figurant le relief du sol, soit au moyen de hachures, soit mieux encore au moyen de courbes de niveau, cartes à petite échelle pour les études d'ensemble, cartes à plus grande échelle, comme celle de l'Etat-Major à $\frac{1}{40.000}$, pour les études plus détaillées.

159. Capacité. — Une dernière considération, dont

Digitized by Google

l'importance est tout à fait prépondérante pour l'adoption définitive de l'emplacement d'un réservoir, est celle de sa capacité. Il est, en effet, nécessaire que cette capacité soit en rapport avec le volume des eaux qui peuvent être recueillies dans la partie supérieure de la vallée.

Il y a là une vérification à faire, pour laquelle il est indispensable de disposer d'un plan avec courbes de niveau suffisamment étendu et à échelle assez grande pour que les aires de ces courbes puissent être mesurées avec quelque exactitude. En multipliant la demi-somme des aires de deux courbes consécutives par la hauteur qui les sépare, on a le volume de la tranche correspondante. Il est alors facile de se rendre compte si, avec la hauteur de digue qu'il n'est pas possible *pratiquement* de dépasser *dans l'espèce*, la capacité du réservoir sera suffisante. Dans le cas où cette capacité serait plus que suffisante, on sera également à même de déterminer la hauteur à laquelle il sera loisible de ramener la digue pour pouvoir disposer de la capacité strictement nécessaire.

160. Divers genres de digues. — La submersion d'une région plus ou moins étendue peut, assurément, avoir pour conséquence l'exécution de travaux plus ou moins importants, parmi lesquels les rectifications ou déviations de routes ou de chemins tiennent la première place ; mais ces travaux, qui n'ont d'ailleurs rien de spécial, passent absolument au second plan par rapport à ceux que comporte l'établissement de la digue et des ouvrages qui en dépendent. La création d'un réservoir, c'est, à proprement parler, la construction de la digue, et c'est sur ce point que nous porterons exclusivement notre attention.

La digue peut être entièrement en terre ou entièrement en maçonnerie ; elle peut encore être construite dans un système mixte, qui combine les remblais avec les maçonneries ou qui comporte l'emploi de matériaux d'autre nature. En conséquence, nous étudierons successivement les *réservoirs avec*

Digitized by Google

digue en terre, les *réservoirs de systèmes mixtes* et les *réservoirs avec digue en maçonnerie.*

Ici, il convient de dire que la question des réservoirs a été traitée avec une remarquable ampleur au *Ve Congrès international de navigation intérieure*, qui s'est tenu à Paris, en 1892. Six rapports ont été produits par des spécialistes distingués, sous les titres suivants :

M. Barois, secrétaire général du Ministère des Travaux publics, au Caire ; *Des réservoirs dans les Indes anglaises* ;

M. A. de Llaurado, ingénieur en chef du district forestier, à Madrid *; Réservoirs établis en Espagne ;*

M. Marius Bouvier, inspecteur général des Ponts et Chaussées et de l'Hydraulique agricole ; *Les réservoirs dans le Midi de la France* ;

M. Gustave Cadart, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à Langres ; *Les réservoirs du département de la Haute-Marne* ;

M. Fontaine, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à Dijon ; *Les réservoirs d'alimentation, canal du Centre et canal de Bourgogne* ;

M. E. de Hœrschelmann, ingénieur des voies de communication, à Saint-Pétersbourg ; *Des principaux réservoirs établis en Russie.*

Et ces rapports ont servi de base à une discussion approfondie reproduite *in extenso* dans les procès-verbaux des séances des sections (pages 75 à 114).

Nous aurons souvent, au cours de ce chapitre, à nous référer aux publications du Ve Congrès international de navigation intérieure.

Digitized by Google

§ 2

RÉSERVOIRS AVEC DIGUE EN TERRE

161. Profil transversal. — Telles qu'on les construit depuis longtemps déjà en France, ces digues sont formées par un massif homogène entièrement composé de bonne terre bien corroyée. En ce qui concerne leur profil transversal, l'examen des planches LXXVI, (page 375), LXXVII (page 376) et LXXVIII (page 377), où sont figurées les digues des réservoirs de Montaubry [1], de Mittersheim [2] et de la Liez [3], permet d'en avoir de suite une idée d'ensemble. Quelques indications de détail trouvent d'ailleurs, ici, naturellement leur place.

La largeur en couronne, de 5 mètres et plus, est suffisante pour donner passage aux voitures. Alors même que le couronnement de la digue ne sert pas d'assiette à une voie publique, il est essentiel, au point de vue de la facile exécution des travaux d'entretien, de pouvoir y faire passer des voitures. D'autre part, il est non moins essentiel que la partie supérieure du massif, exposée à être battue par les lames et les glaçons, présente une solidité exceptionnelle.

1. Construit de 1859 à 1861 pour l'alimentation du canal du Centre ; cet ouvrage est décrit en détail dans la publication intitulée *Collection de dessins distribués aux élèves de l'Ecole des Ponts et Chaussées*, tome I, page 276.

2. Construit pour l'alimentation du canal des houillères de la Sarre et mis en service en 1866. Le canal des houillères de la Sarre a été cédé à l'Allemagne, en 1871, en vertu du traité de Francfort. La description détaillée du barrage de Mittersheim a fait l'objet d'une note de M. l'ingénieur Hirsch insérée aux *Annales des Ponts et Chaussées*, 1869, 1er semestre.

3. Construit de 1880 à 1886 pour l'alimentation du canal de la Marne à la Saône ; cet ouvrage est décrit en détail dans un mémoire de M. l'ingénieur en chef Gustave Cadart publié dans les *Annales des Ponts et Chaussées*, 1899, 4e trimestre.

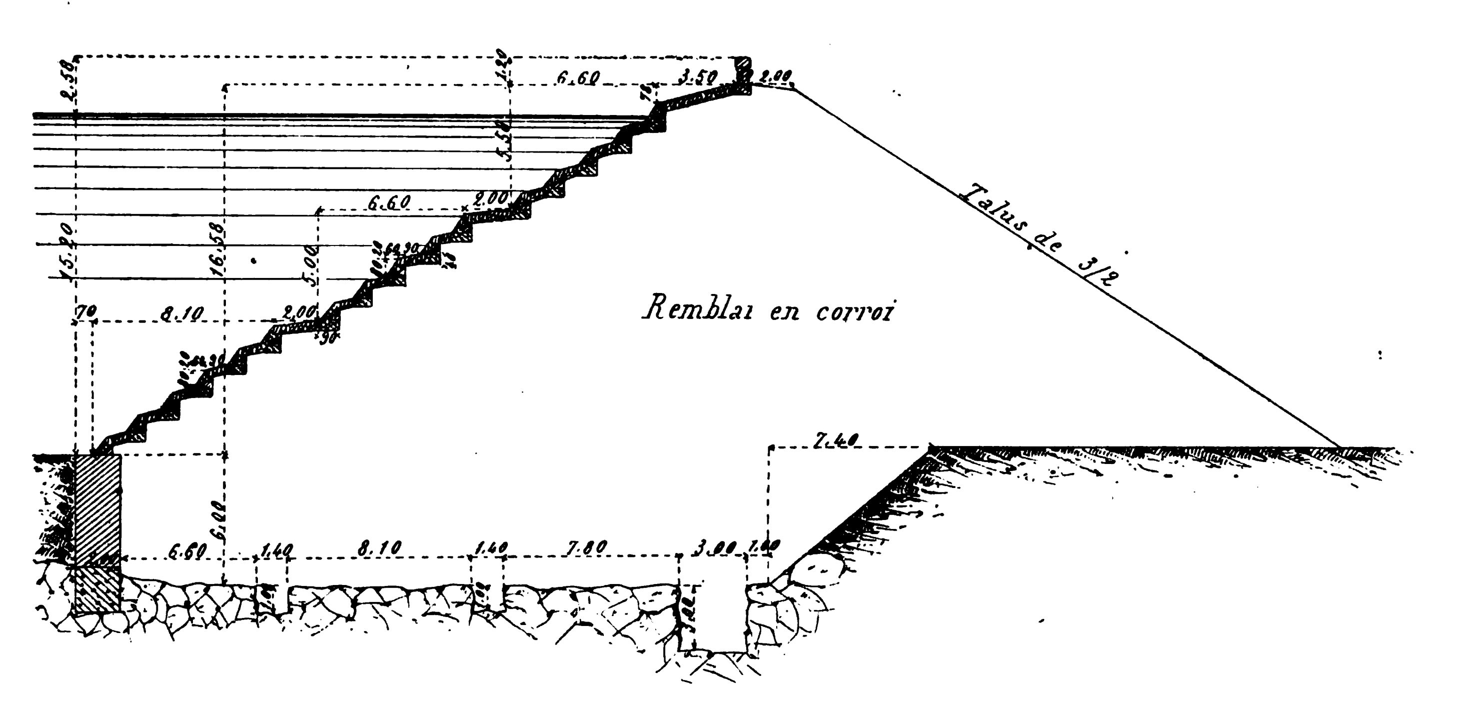
Digitized by Google

En effet, sur les grands réservoirs, véritables lacs, il se forme des vagues, d'autant plus fortes que la profondeur est plus grande et que les vents violents enfilent mieux la direction générale de la vallée. On a observé, dit-on, sur l'étang de Chazilly (canal de Bourgogne), qui a 1.500 mètres de longueur et près de 20 mètres de profondeur, des lames de 3 mètres de hauteur. Il est permis de se demander si la mesure a été très rigoureusement prise ; ce qu'on peut dire c'est que le réservoir, étant orienté du S.-O. au N.-E., offre toute prise aux vents de tempête. En tout cas, les lames n'ont pas besoin d'avoir une amplitude de 3 mètres pour être susceptibles de produire des avaries considérables, quand elles déferlent sur une digue en terre. Il faut donc qu'elles se heurtent à une masse assez solide pour résister au choc et assez élevée pour n'être pas surmontée. C'est à quoi l'on arrive en donnant au couronnement une largeur suffisante et en le plaçant à un niveau supérieur à celui des plus hautes vagues à craindre. On le surmonte, en outre, d'un solide parapet maçonné de 1 mètre au moins de hauteur, destiné à arrêter l'embrun provenant des lames et à empêcher les dégradations qui pourraient résulter de cette projection d'eau sur le couronnement et le talus extérieur.

Le talus d'amont présente une inclinaison générale uniforme de trois de base pour deux de hauteur au plus ; mais le revêtement dont il est invariablement muni forme, dès que la hauteur de la digue est notable, une série de gradins superposés.

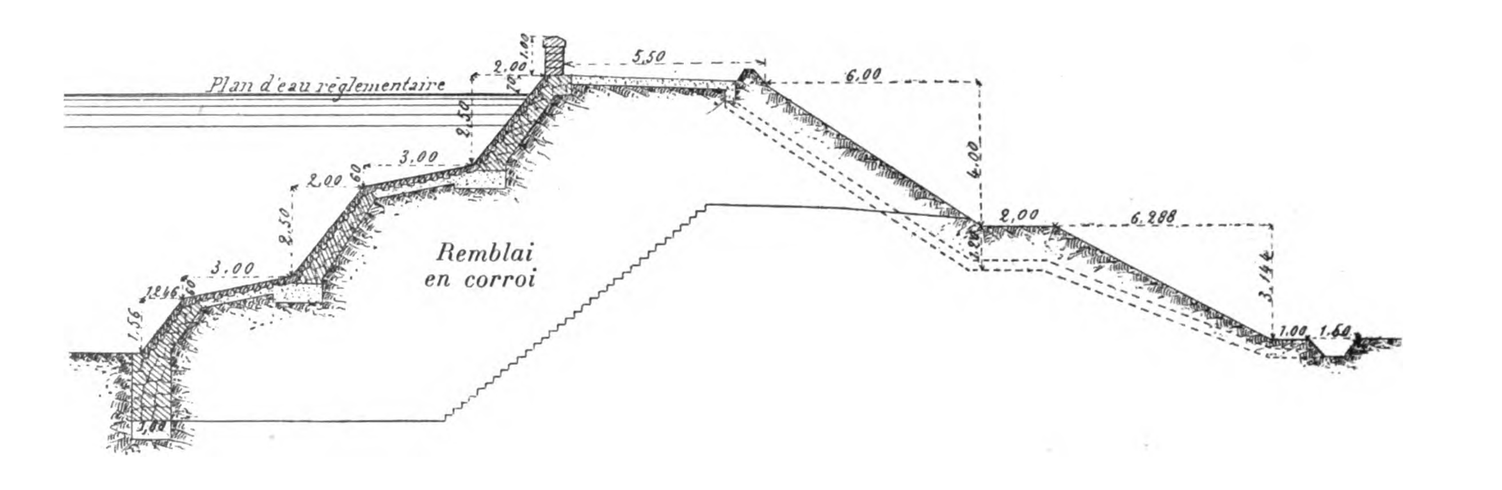
Du côté d'aval, on trouve le plus souvent une succession de plans inclinés, séparés par des banquettes horizontales, dont l'espacement vertical peut varier de trois à six mètres. L'inclinaison de ces plans n'est généralement pas uniforme. Au réservoir de la Liez (pl. LXXVIII), par exemple, les plans inclinés, au nombre de trois, présentent les inclinaisons successives de trois de base pour deux de hauteur, sept pour quatre et deux pour un. Au réservoir de Mittersheim (pl. LXXVII),

Digitized by Google



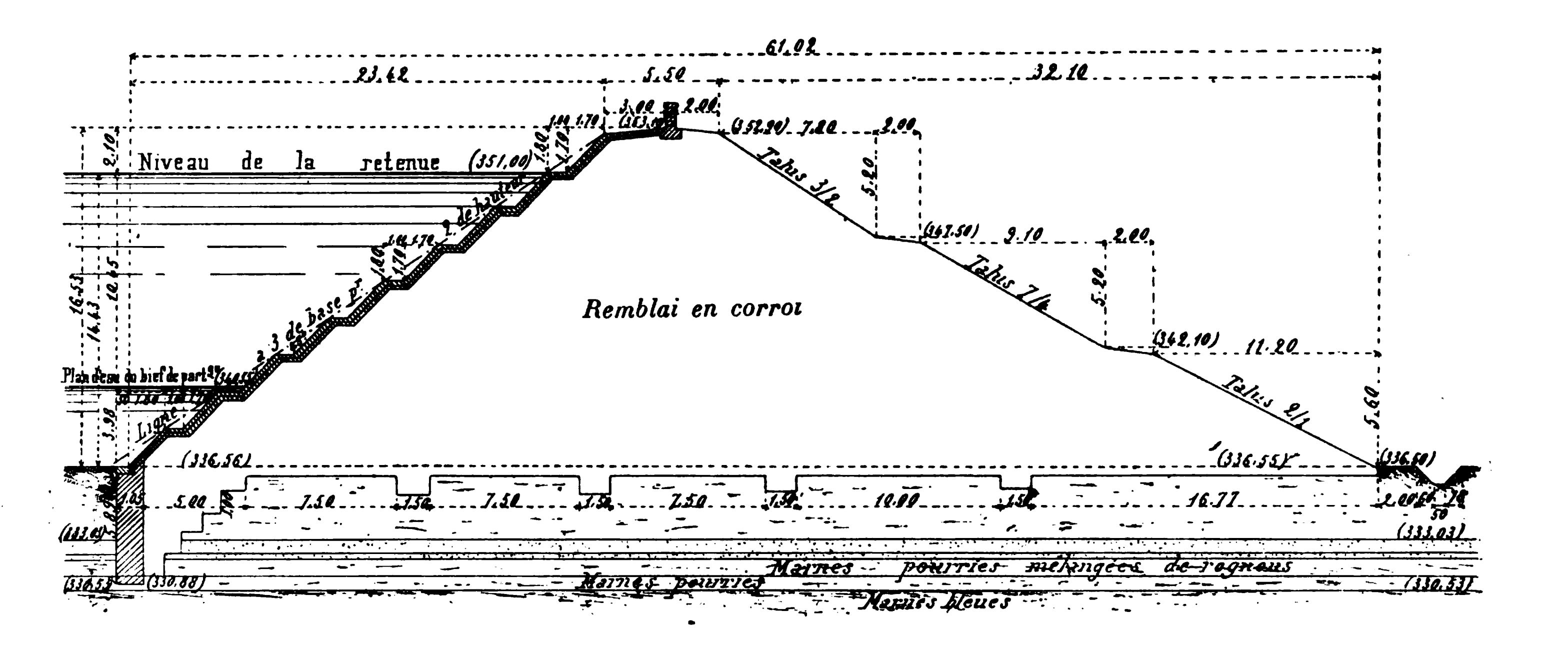
Pl. LXXVI. DIGUE DU RÉSERVOIR DE MONTAUBRY. — CANAL DU CENTRE.

Digitized by Google



Pl. LXXVII. DIGUE DU RÉSERVOIR DE MITTERSHEIM. — CANAL DES HOUILLÈRES DE LA SARRE

Digitized by Google



Pl. LXXVIII. DIGUE DU RÉSERVOIR DE LA LIEZ. — CANAL DE LA MARNE A LA SAONE

Digitized by Google

les plans, au nombre de deux, sont respectivement inclinés à trois de base pour deux de hauteur et à deux pour un.

163. Nature des terres à employer. — Le remblai constitutif de la digue doit présenter un mélange d'argile et de sable, dans des proportions telles que chaque grain de sable soit parfaitement empâté dans l'argile et que celle-ci ne soit, nulle part, en assez grande quantité pour permettre au mélange d'être compressible. M. Mary et M. Vallée estimaient déjà que la bonne terre à corroi est celle qui, composée principalement de sable, ne contient que juste ce qu'il faut d'argile pour lier entre elles les parties sablonneuses, le plus gros sable étant le meilleur parce que chaque grain, une fois à sa place, a plus de stabilité. Suivant l'observation du dernier de ces deux éminents ingénieurs, on obtient avec des terres de cette espèce,après battage et dessiccation,un remblai tellement dur que le pic est nécessaire pour y creuser une fouille, et que l'on éprouve, pour se servir de cet outil, autant de difficulté que dans les terres vierges qui, par leur nature, se rapprochent le plus du rocher.

La proportion la meilleure est celle de 2/3 de sable et 1/3 d'argile. C'est la composition naturelle des terres que l'on trouve sur une grande partie du parcours du canal du Centre, en France, et cela suffit à expliquer pourquoi les nombreux réservoirs établis pour l'alimentation de ce canal comportent tous des digues en terre.

Pour la construction de la digue du réservoir de Mittersheim, la terre employée contenait à peu près moitié de sable et moitié d'argile. On la mélangeait d'une faible proportion de chaux hydraulique, en poudre ou en lait selon que la terre était plus ou moins humide (12 litres de chaux en poudre par mètre cube de corroi en moyenne). Le résultat a été très satisfaisant, mais il convient de remarquer que la digue de Mittersheim est d'une élévation modérée.

Pour la digue du réservoir de la Liez, au canal de la Marne

Digitized by Google

à la Saône, les terres dont on pouvait disposer étaient encore plus argileuses ; elles ne contenaient guère qu'un tiers de matières sablonneuses. Or, nous verrons plus loin que l'emploi de terres trop argileuses a donné lieu, dans certains cas, à de graves accidents, dont la réparation a exigé l'exécution d'ouvrages dispendieux. Pour prévenir ce danger, le corroi a été composé par un mélange artificiel des terres mentionnées ci-dessus avec du menu gravier, dans la proportion de deux volumes de terre pour un de gravier calcaire de la vallée de la Marne. Le corroi obtenu par ce mélange est excellent et d'une imperméabilité absolue.

Au contraire, au réservoir du Bourdon, actuellement en construction pour l'alimentation du canal de Briare, on a employé des terres où l'argile n'entre guère que pour un quart. Le résultat obtenu paraît de tout point satisfaisant et d'ailleurs on avait pu, en maintes circonstances, constater sur ces terres en place leur grande imperméabilité.

Des ingénieurs, parmi lesquels M. Vallée, se sont demandé s'il ne suffirait pas de corroyer une partie du massif de la digue, la moitié d'amont par exemple, ce qui permettrait de réaliser une importante économie. On ne s'est point arrêté à cette combinaison, chez nous. On a toujours pensé que le défaut d'homogénéité risquait de se traduire par des inégalités de tassement et celles-ci par la production de fissures. Or la production de fissures dans une digue en terre peut rapidement aboutir aux pires désastres, et en matière de réservoirs la question de sécurité prime toutes les autres ; la question d'économie passe au second plan.

163. Préparation du sol de fondation. — Les qualités exceptionnelles des bonnes terres soigneusement corroyées ne serviraient évidemment à rien si le sol de fondation, sur lequel le massif repose, n'était à un même degré résistant et imperméable. Il faut, en outre, que la liaison entre les deux soit assez parfaite pour qu'aucune filtration ne puisse se produire entre le remblai et le sol naturel.

Digitized by Google

On commence donc par décaper soigneusement toute l'emprise de la digue. Le terrain résistant est partout mis à nu et, sur une partie au moins de la largeur du massif, la fouille est descendue jusqu'à pénétrer dans les couches absolument imperméables. De nombreux arrachements sont pratiqués et même des clefs longitudinales en corroi sont descendues dans le sol naturel, en vue de faciliter la liaison avec le remblai. Enfin un *mur de garde*, établi suivant le pied du dit remblai, est encastré à sa base dans les couches absolument imperméables. Voici quelques exemples d'application de ces dispositions essentielles.

A Montaubry (pl. LXXVI), sur la moitié amont de la digue, la fouille a été ouverte jusqu'au rocher vif dans lequel on a descendu trois clefs longitudinales en corroi, deux de 1 m. 40 de large sur 1 mètre de hauteur et une de 3 mètres sur 3 mètres. Le mur de garde, de 2 mètres d'épaisseur, pénètre d'à peu près autant dans le rocher.

A Mittersheim (pl. LXXVII), la fondation du mur de garde a été encastrée dans les couches parfaitement imperméables des marnes irisées. Le terrain a été déblayé au niveau du béton de fondation sur une grande largeur en arrière de ce mur, jusqu'à la partie conservée d'une ancienne digue d'étang, dans laquelle on a taillé des gradins pour former liaison avec les remblais supérieurs.

Le mur de garde établi au pied de la digue du réservoir de la Liez (pl. LXXVIII) a 1 m. 25 de largeur ; sa fondation, constituée par un lit de béton de 0 m. 50 d'épaisseur, est ancrée dans les marnes imperméables. En arrière de ce mur et descendant jusqu'au même niveau, une fouille a été ouverte, dont la largeur augmente progressivement de la base au sommet par gradins de 1 mètre et dans laquelle pénètre le corroi du massif de la digue. Sur le reste de la largeur de ce massif, sa liaison avec le sol naturel est complétée : 1° par un décapage général du terrain sur une profondeur de 0 m. 30 au moins ; 2° par quatre clefs d'ancrage en terre corroyée

Digitized by Google

larges de 1 m. 50 et profondes, la première de 1 m. 35, la deuxième de 1 m. 25, les deux autres de 1 mètre.

161. Exécution du corroi. — La terre à corroyer est régalée par couches bien émottées de faible épaisseur, avec addition, s'il y a lieu, de chaux hydraulique en poudre ou en lait suivant son état hygrométrique. Dans le dernier cas, la quantité de liquide doit être celle strictement suffisante pour donner un peu de liant ; le moins est le mieux.

Autrefois le corroyage se faisait à main d'homme, au moyen de battes ou de pilons ; un premier perfectionnement a consisté dans l'emploi d'engins traînés par des chevaux. Voici, par exemple, comment était constitué celui qui a été employé à Mittersheim ; la figure 46 en donne un dessin schématique.

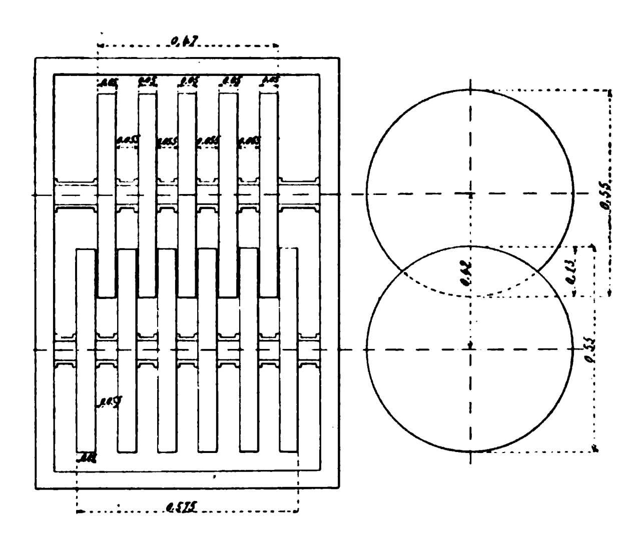


Fig. 46.

Sur deux arbres parallèles distants de 0 m. 42, sont enfilés cinq et six disques en fonte, de 0 m. 55 de diamètre et de 0 m. 05 d'épaisseur, espacés de 0 m. 105 de milieu en milieu. Les disques de l'un des arbres passent dans les intervalles des disques de l'autre avec chevauchement de 0 m. 13. Cette dis-

Digitized by Google

position suffit pour éviter l'engorgement. Les extrémités des arbres portent un cadre servant à la traction et surmonté d'un caisson destiné à recevoir une surcharge en moellons.

Ce rouleau corroyeur pesait 2.100 kilogrammes à pleine charge, 1.200 pour l'engin lui-même et 900 pour la surcharge, ce qui correspond à 200 kilogrammes par décimètre de jante ; il marchait indifféremment en avant et en arrière ; il fallait de quatre à six chevaux pour la traction. La terre était répandue par couches de 0 m. 08 dépaisseur ; 12 passages suffisaient pour réduire cette épaisseur de plus d'un tiers et donner au corroi une compacité complète. Le prix de revient a été de 0 fr. 21 par mètre cube.

Dans les parties que le rouleau corroyeur ne pouvait atteindre, on se servait de dames en fonte du poids de 19 kil. (fig. 47) ; enfin un marteau en bois, dont la tête, lourde de 2 kil., était fixée à un long manche flexible, servait à serrer les terres tout contre les parements des maçonneries des ouvrages d'art.

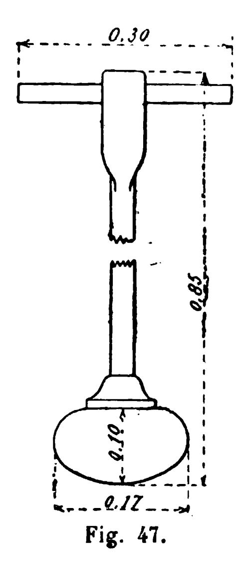


Fig. 47.

Pour la construction de la digue du réservoir de Torcy-Neuf, au canal du Centre, on a employé des rouleaux cannelés à traction de chevaux ou à vapeur. Les premiers pesaient de 700 à 750 kilogrammes, les autres 5.000. Un rouleau de 700 kil., traîné par un cheval, battait, par jour, 80 mc. de terre mesurés après tassement ; avec un rouleau à vapeur, ce volume s'élevait à 500 mc. Le prix de revient moyen du battage, y compris régalage, arrosage en tant que de besoin et addition de chaux, a été, par mètre cube, de 0 fr. 23.

Dans les travaux les plus récents c'est également de rouleaux cannelés qu'on s'est servi. Au réservoir du Bourdon (canal de Briare) l'appareil était mu par l'électricité ; au

Digitized by Google

réservoir de Grosbois (canal de Bourgogne), on a employé un rouleau électrique et un rouleau à vapeur ; le service du canal de la Marne à la Saône s'est décidé pour le rouleau à pétrole [1].

Les cannelures des rouleaux employés à Grosbois présentent des saillies profilées suivant un trapèze de 0 m. 050 de hauteur avec des bases de 0 m. 075 et 0 m. 050 et des creux de même hauteur avec bases de 0 m. 075 à l'extérieur et 0 m. 050 au fond (fig. 48). Le poids par décimètre de longueur de jante des roues est de 180 kil. pour le rouleau électrique et de 236 pour le rouleau à vapeur. La terre était répandue par couches de 0 m. 15 qui se réduisaient à 0 m. 08 ou 0 m. 07 après 10 ou 12 passages du rouleau.

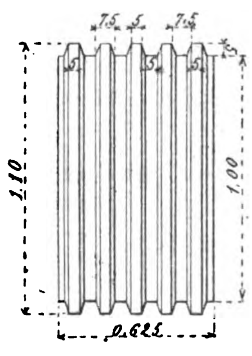


Fig. 48.

Au canal de la Marne à la Saône, la profondeur des cannelures est de 0 m. 040 (fig. 49) ; les saillies sont des trapèzes dont les bases ont respectivement 0 m. 070 et 0 m. 050 ; les creux ont 0 m. 050 en gueule et 0 m. 030 au fond. Le poids est de 210 kil. par décimètre de longueur de jante. Avec des couches de 0 m. 15 les résultats sont excellents.

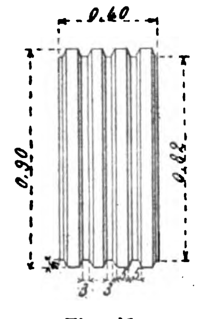


Fig. 49.

L'emploi de rouleaux cannelés lourds, travaillant *toujours à pleine charge*, c'est-à-dire avec un poids de 200 kil. environ par décimètre de longueur de jante, paraît à recommander. Avec les rouleaux à traction électrique ou à vapeur, on ne peut guère compter sur un prix de revient infé-

1. Voir à ce sujet l'article publié par M. l'ingénieur en chef Galliot dans les *Annales des Ponts et Chaussées*, 1902, 1er trimestre, page 196.

Digitized by Google

rieur à 0 fr. 16 pour le corroyage. Avec les rouleaux à pétrole, ce prix pourrait tomber à 0 fr. 10.

Quel que soit le moteur employé, les rouleaux ne peuvent passer tout à fait sur le bord du remblai. Les couches superposées sont, en conséquence, établies sur une largeur dépassant un peu (de 0 m. 50 à 0 m. 80) de chaque côté celle que doit présenter la digue. Ces excédents d'épaisseur sont ensuite recoupés de manière que les talus soient entièrement taillés dans le massif parfaitement corroyé.

165. Revêtement du talus d'amont. — Exposé au choc de lames parfois très fortes et à celui de glaçons flottants (page 373), le talus d'amont doit nécessairement être pourvu d'un solide revêtement.

Si la profondeur d'eau est peu considérable, si les vents violents ne poussent pas à la digue, si celle-ci donne d'ailleurs toute garantie au point de vue de la qualité des terres qui en forment le massif, on peut se contenter d'un perré à pierres sèches comme on l'a fait aux étangs de Baye et de Vaux dépendant du canal du Nivernais et à divers étangs du canal du Centre. On donne à ce perré une épaisseur exceptionnelle, qui peut aller jusqu'à 0 m. 50 au sommet et 0 m. 80 à la base (dimensions mesurées horizontalement) ; on assure au pied une assiette solide et on a soin d'établir le revêtement sur une couche de matériaux de grosseur décroissante, pierre cassée, gravier, sable, de 0 m. 10 d'épaisseur au moins. L'eau qui a passé entre les moellons du perré achève de perdre sa vitesse, par suite sa force d'affouillement, dans ce tapis perméable, et d'autre part ce dernier s'oppose à l'entraînement des terres qui constituent le massif de la digue. Cependant, malgré toutes les précautions, cette solution présente un double inconvénient ; sur un perré de grande étendue réglé suivant une pente uniforme, les avaries se propagent aisément et les réparations sont très difficiles.

On doit donc considérer comme la règle l'établissement

Digitized by Google

d'un revêtement en maçonnerie à bain de mortier formant une série de gradins superposés, et combiné de telle sorte que ses différentes parties soient assez solides pour résister aux actions extérieures et intérieures, assez indépendantes pour que les dégradations, s'il en survient, restent localisées, assez accessibles pour que les réparations puissent être exécutées partout avec facilité. Ce système a été appliqué pour la première fois, vers 1830, au canal du Centre, à la digue de l'étang Berthaud, par M. Vallée, mais la digue du réservoir de Montaubry, servant à l'alimentation du même canal, en offre un exemple qu'on peut qualifier de classique.

Le revêtement du talus d'amont de la digue de Montaubry forme, dans sa plus grande hauteur, 16 gradins divisés en trois groupes (5,5 et 6) par deux risbermes de 2 mètres de largeur (pl. LXXVI, page 375).

Dans chaque groupe, les crêtes des gradins sont situées sur une même ligne droite inclinée à trois de base pour deux de hauteur, chaque crête étant distante de la précédente, horizontalement de 1 m. 50 et verticalement de 1 mètre (fig. 50).

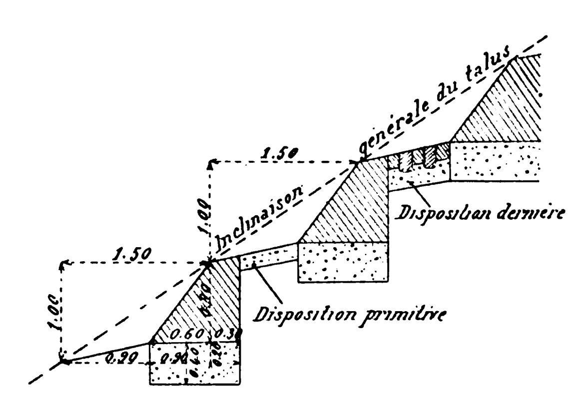


Fig. 50.

Chaque gradin est formé par un petit mur en maçonnerie de moellons, haut de 0 m. 80, large de 0 m. 30 au sommet et de 0 m. 90 à la base, fondé sur un massif de béton de 0 m. 40

Digitized by Google

d'épaisseur et de 0 m. 90 de largeur. Deux murs consécutifs sont séparés par une berme présentant une pente transversale de 0 m. 20. Primitivement, ces bermes avaient une épaisseur totale de 0 m. 20, dont 0 m. 185 de béton et 0 m. 015 d'un enduit de bitume. Cet enduit s'est rapidement altéré et les bermes ont dû être rétablies en maçonnerie de moellons sur béton de 0 m. 15 d'épaisseur.

A Mittersheim, la ligne formée par les crêtes des gradins a une inclinaison un peu inférieure à trois de base pour deux de hauteur, chaque crête étant distante de la précédente, horizontalement de 5 mètres et verticalement de 3 m. 10 (fig. 51).

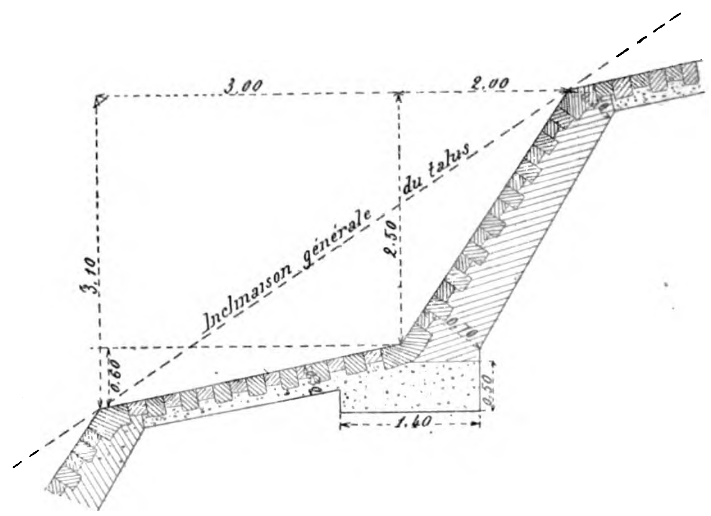


Fig. 51.

Chaque gradin est formé par un perré maçonné haut de 2 m. 50, épais de 0 m. 50 au sommet et de 0 m. 70 à la base, fondé sur un massif de béton de 0 m. 50 d'épaisseur et de 1 m. 40 de largeur. Deux perrés consécutifs sont séparés par une berme présentant une pente transversale de 0 m. 60, dont l'épaisseur de 0 m. 30 est formée d'une couche de béton sur 0 m. 18 et d'un perré maçonné ou plutôt d'un pavage sur 0 m. 12.

Au réservoir de la Liez, la ligne formée par les crêtes des

Digitized by Google

gradins a exactement l'inclinaison de trois de base pour deux de hauteur, chaque crête étant distante de la précédente, horizontalement de 2 m. 70 et verticalement de 1 m. 80 (fig. 52).

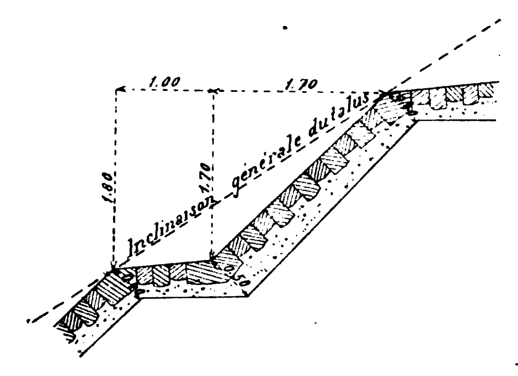


Fig. 52.

Chaque gradin est formé par un perré incliné à 45°, de 1 m. 70 de hauteur ; les gradins sont séparés par des banquettes de 1 mètre de largeur, en pente de 10 0/0. La maçonnerie des gradins et des banquettes est formée d'une couche de fondation en béton et d'un parement de moellons smillés de 0 m. 20 à 0 m. 35 de queue. L'épaisseur de cette maçonnerie de revêtement, mesurée normalement à l'inclinaison est de 0 m. 50 au pied et de 0 m. 40 au sommet des gradins ; pour les banquettes, cette épaisseur varie entre 0 m. 323 et 0 m. 353. Les angles saillants et rentrants, à la rencontre des gradins et des banquettes, sont formés par de petits coussinets en pierre de taille.

Il serait sans utilité de multiplier les exemples.

Le revêtement du talus d'amont se relie par son extrémité inférieure au mur de garde établi, comme nous l'avons expliqué ci-dessus (page 380), au pied de ce talus ; par son extrémité supérieure au parapet en maçonnerie construit sur le couronnement, dont nous avons dit un mot plus haut (page 374) et sur lequel nous aurons à revenir dans l'article suivant.

Dans nombre de cas, le revêtement comprend une couche

Digitized by Google

de fondation en béton et un parement en moellons. On peut se demander s'il ne serait pas préférable d'éviter la superposition des deux espèces de maçonnerie sous des épaisseurs toujours assez faibles et d'adopter exclusivement, suivant les cas : ou la maçonnerie de moellons, en la bloquant exactement contre les parements du remblai ; ou le béton. MM. les ingénieurs du canal de la Marne à la Saône ont proposé d'employer ce dernier sous forme de dalles de grandes dimensions, moulées sur place à côté les unes des autres. Avec les parements en moellons, le développement total des joints atteint une longueur extraordinaire ; l'entretien de ces joints constitue une grande sujétion et une dépense importante. L'emploi de grandes dalles réduirait considérablement le développement des joints. On a proposé aussi d'employer en revêtement le béton armé.

166. Couronnement et parapet. — Les données numériques les plus intéressantes en ce qui concerne le couronnement et le parapet sont groupées dans le tableau ci-après, non seulement pour les trois réservoirs de Montaubry, de Mittersheim et de la Liez, mais encore pour ceux de Torey-Neuf et du Plessis, dépendant du canal du Centre et pour le réservoir de Cercey dépendant du canal de Bourgogne.

On voit tout d'abord que, dans notre pays, la hauteur des plus importantes digues de réservoirs en terre reste au-dessous de 20 mètres.

La revanche du couronnement par rapport au niveau de la retenue normale, qui est très sensiblement de 1 m. 50 en moyenne, varie de 0 m. 70 à 2 m. 10, c'est-à-dire du simple au triple suivant les circonstances.

Comprise entre 1 mètre et 1 m. 25, la hauteur du parapet est presque constante, aussi la revanche totale, la hauteur de protection effective, ne varie plus que du simple au double, de 1 m. 70 à 3 m. 35, avec une valeur moyenne très rapprochée de 2 m. 60.

Digitized by Google

DÉSIGNATION des données	Réservoir de Montaubry	Réservoir de Mittersheim	Réservoir de la Liez	Réservoir de Torcy-Neuf	Réservoir du Plessis	Réservoir de Cercey
Hauteur du couronnement au-dessus du seuil de la bonde de fond	16m58	9m92	16m77	16m30	9m30	13m30
Haut. de la retenue normale.	15 20	9 22	14 67	14 50	7 75	12 50
Revanche.	1 38	0 70	2 10	1 30	1 55	1 30
Hauteur du parapet . . .	1 20	1 00	1 25	1 20	1 20	1 00
Revanche totale	2 58	1 70	3 35	3 00	2 75	2 30
Largeur du couronnement en amont du parapet . .	3 50	»	3 00	3 50	3 00	»
Largeur en aval du parapet.	2 00	5 50	2 00	1 50	1 50	5 00
Largeur totale.	6 00	6 00	5 50	5 50	5 00	6 40
Largeur du parapet . . .	0 50	0 50	0 50	0 50	0 50	1 40

Le plus souvent, le parapet divise le couronnement en deux parties, celle d'amont, du côté de l'eau, étant la plus large. Cette solution a sans doute été adoptée comme assurant mieux la stabilité du parapet et facilitant sa fondation. Cependant la solution contraire, qui consiste à établir le parapet à la crête amont du couronnement, aurait nos préférences ; il nous paraît avantageux de pouvoir disposer d'un espace entièrement libre aussi large que possible tant pour le transport des matériaux d'entretien que pour leur mise en dépôt, l'organisation de chantiers, etc..

Quant au profil même du parapet, il est pour ainsi dire immuable. Cependant mention spéciale doit être faite de celui de la digue du réservoir de Cercey (pl. LXXIX, page 393). C'est en réalité une banquette maçonnée dont le talus extérieur se raccorde en doucine avec le revêtement du talus d'amont, de manière à amortir l'effet des vagues.

Digitized by Google

La portion du couronnement en arrière du parapet n'est généralement pas revêtue. Parfois, on y établit une chaussée d'empierrement qui a, entre autres avantages, celui de mettre la partie supérieure du remblai, au moins partiellement, à l'abri des eaux pluviales. Un drainage soigné permettra d'obtenir, dans tous les cas, à ce point de vue, un résultat plus complet et plus sûr.

167. Talus d'aval. — Il sera bon de faire de même pour le talus d'aval et de ne pas se borner à le gazonner ou à y faire quelques plantations d'acacias. A Mittersheim, le talus d'aval est énergiquement drainé jusqu'à 1 m. 20 de profondeur, et, dans sa note déjà citée, M. l'ingénieur Hirsch justifiait ainsi cette mesure. « Il est aussi important de donner un « libre écoulement aux filtrations qui pourraient se produire « que d'en empêcher l'introduction dans le corps de la digue. « La partie postérieure du remblai est partagée par les drains « en contreforts parfaitement assainis et compacts qui sou- « tiennent contre la poussée de l'eau, la paroi antérieure for- « mant cloison étanche ».

La preuve de l'utilité de ces drainages, c'est que, alors même que la digue est parfaitement étanche, ils fournissent, par les temps humides, une certaine quantité d'eau provenant de la pluie qui mouille le talus et la chaussée, eau qui ne pourrait avoir qu'un mauvais effet si on ne s'en débarrassait pas. Des drainages de cette nature ont également donné de très bons résultats à la digue du réservoir de Montaubry et là on peut, paraît-il, se demander si une partie de l'eau ne vient pas d'infiltrations.

168. Emploi des terres trop argileuses. — Nous avons déjà mentionné plus haut les accidents qui peuvent provenir de l'emploi de terres trop argileuses pour la construction des digues. A ce point de vue, l'exemple des deux réservoirs de Cercey et de Panthier (canal de Bourgogne)

Digitized by Google

qui ont été établis avec des terres de cette nature est fort instructif. Il montre aussi comment on peut prévenir ou réparer les accidents en question.

A Cercey, la digue avait été commencée avec un talus intérieur de 2,25 pour 1 et un talus extérieur de 1,5 pour 1. Des glissements se sont produits quand les remblais, qui devaient s'élever à 12 m. 80, n'avaient encore que 7 mètres de hauteur. L'inclinaison du talus extérieur fut alors portée à 2 pour 1, mais un nouvel éboulement se produisit à l'intérieur, le réservoir étant aux trois quarts plein. Enfin, la brèche ayant été réparée et le talus intérieur porté à 2,4 pour 1, des affaissements se sont encore manifestés au niveau de la retenue.

Cependant M. Bazin, alors ingénieur au canal de Bourgogne, a pu avec les mêmes terres mener à bonne fin l'exhaussement de la digue du réservoir de Panthier et porter la retenue normale de ce réservoir de 7 m. 60 à 13 m. 60 au-dessus du seuil de la bonde de fond. Il a rendu compte de ces travaux, qui n'ont pas duré moins de sept années, de 1867 à 1873, dans une notice insérée aux *Annales des Ponts et Chaussées* (1880, 2e semestre). Il y fait connaître les précautions minutieuses qui ont été prises pour effectuer l'emploi des terres dans les meilleures conditions possibles et pour protéger le massif de remblai une fois exécuté contre les agents atmosphériques ; mais la disposition caractéristique adoptée à Panthier pour prévenir les accidents consiste à décomposer toute la portion du massif correspondant au talus intérieur, en compartiments distincts, au moyen de murs destinés à empêcher la propagation latérale des glissements.

Ces cloisons en maçonnerie, établies suivant des lignes de plus grande pente, sont espacées de 40 mètres dans la partie centrale et de 60 mètres vers les extrémités ; elles sont supportées par deux larges arceaux dont les piédroits traversent entièrement le corps du remblai *et sont descendus jusqu'au terrain solide.* Leur épaisseur, qui est de 1 m. 50, suffirait

Digitized by Google

pour résister à la poussée latérale, dans le cas où on viendrait à déblayer un compartiment ; elles n'ont été exécutées qu'après la confection des remblais, au moyen de fouilles fortement blindées que l'on remplissait de maçonnerie.

Le même procédé a été employé pour réparer la digue de Cercey. Là les cloisons ont 2 mètres d'épaisseur, et sont espacées de 12 mètres seulement ; elles forment chacune trois voûtes rampantes de 6 mètres d'ouverture (pl. LXXIX), dont les piédroits ne traversent pas entièrement la masse du remblai mais descendent au-dessous de la surface inférieure des glissements On a, en outre, appuyé le pied du remblai, dans les parties ou des mouvements s'étaient produits, par un solide mur de butée.

Nous devons ajouter que le cloisonnement introduit avec succès dans les digues des réservoirs de Cercey et de Panthier ne faisait que reproduire, sauf quelques légers changements, des dispositions appliquées dès 1838 au canal du Centre pour la consolidation de la digue du réservoir de Torcy [1].

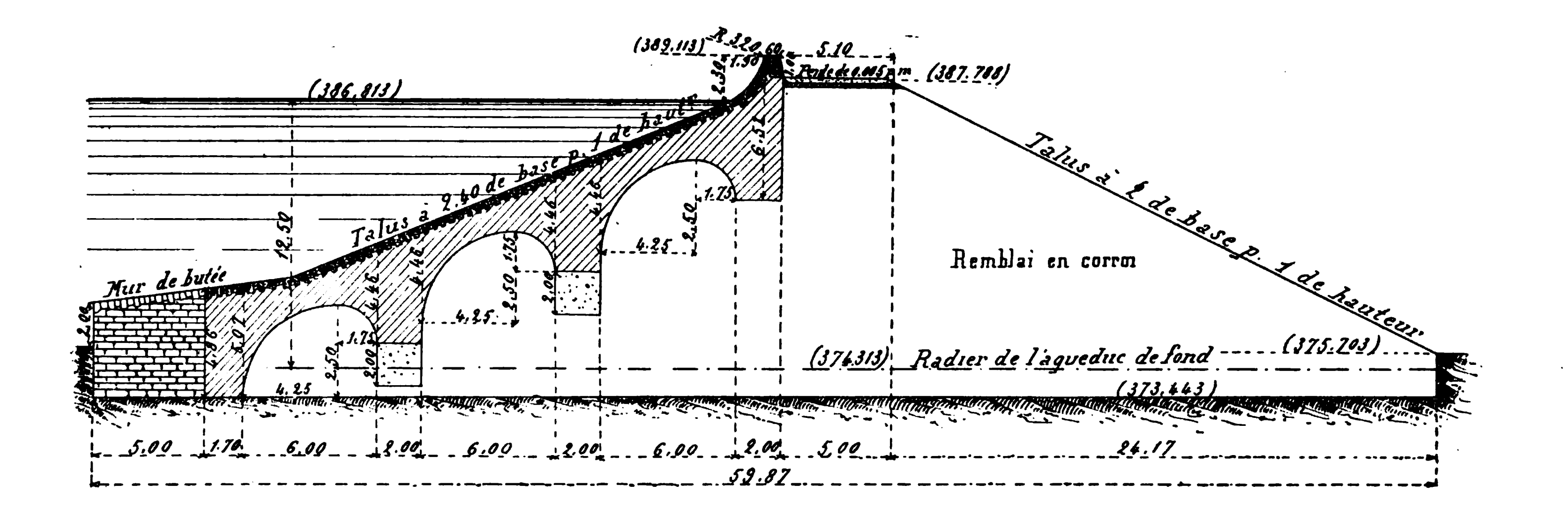
Il est permis de penser que l'introduction des cloisons dans le remblai n'a pas pour seul effet d'empêcher la propagation latérale des glissements, mais que, par suite du frottement des terres contre les maçonneries, il met obstacle à la production même de ces mouvements.

169. Ouvrages accessoires. — Une digue de réservoir doit être nécessairement accompagnée d'ouvrages accessoires, tant pour l'adduction que pour l'émission de l'eau. Les premiers ne sont autres que des bassins de décantation ou des fossés de ceinture pour empêcher l'admission des eaux troubles et prévenir ainsi les envasements ; les autres comprennent :

1° Un ou plusieurs déversoirs de superficie pour laisser passer le trop-plein de la retenue, le cas échéant ;

1. *Annales des Ponts et Chaussées,* 1846, 1er semestre; notice de M. Comoy.

Digitized by Google



Pl. LXXIX. DIGUE DU RÉSERVOIR DE CERCEY. — CANAL DE BOURGOGNE

Digitized by Google

2° Une ou plusieurs prises d'eau pour permettre les emprunts en vue desquels la retenue a été créée ;

3° Une bonde de fond pour mettre le réservoir à sec, en cas de besoin.

170. Bassins de décantation et fossés de ceinture. — Les ruisseaux qui tombent dans un réservoir et qui, ainsi, l'alimentent, entraînent généralement des matières en suspension qui se déposent en arrivant dans des eaux calmes et réduisent peu à peu la capacité de ce réservoir. M. Comoy cite plusieurs étangs qui ont été complètement envasés de cette façon au canal du Centre (*Annales*, 1848, 1er semestre).

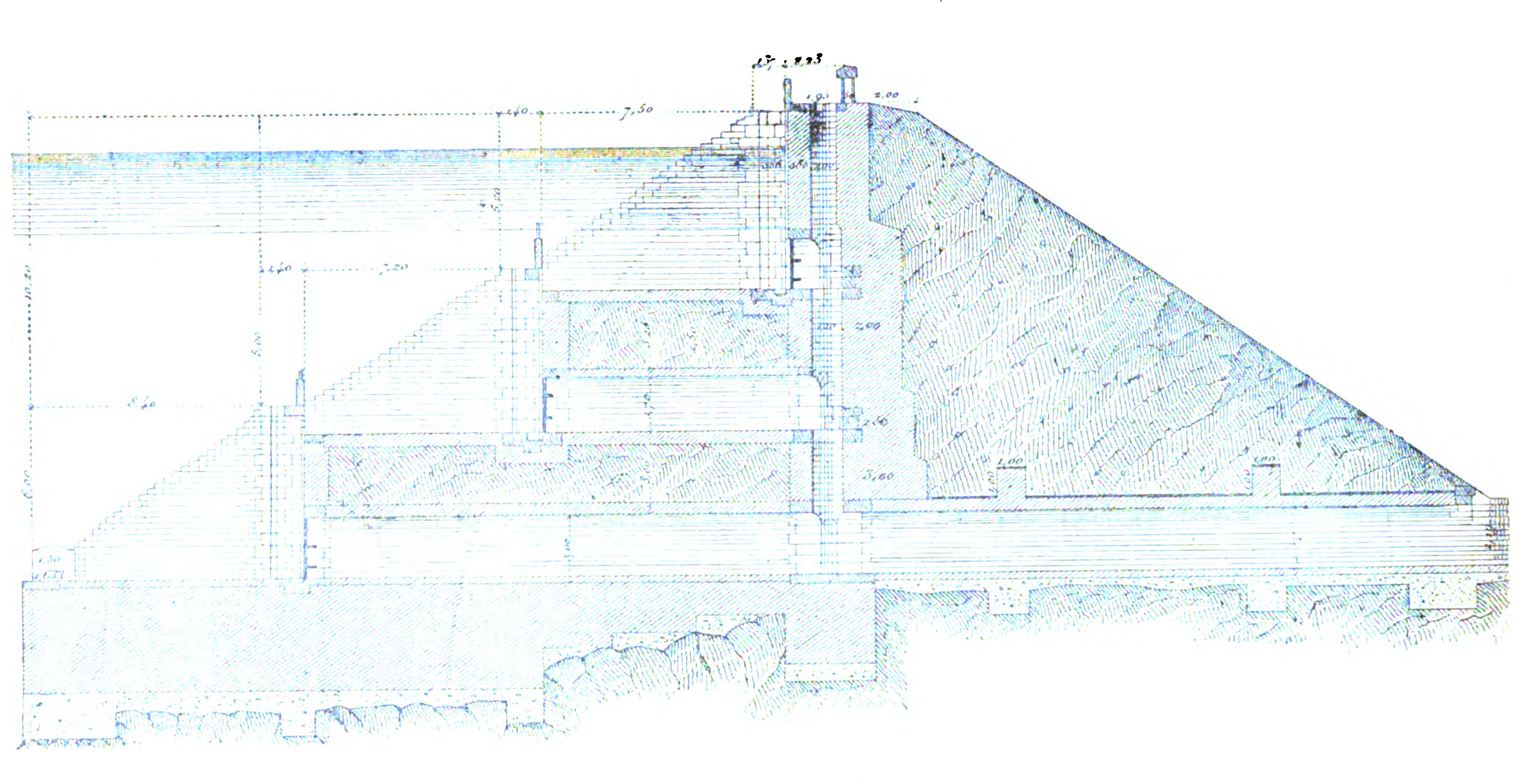
Il est impossible d'empêcher cet entraînement, mais on peut en diminuer les fâcheux effets, en plaçant, sur chaque ruisseau, à quelques distance du réservoir, un bassin de décantation dans lequel s'arrêtera au moins le plus gros des matières charriées. On en retirera les dépôts plus facilement que si on devait les draguer au fond du réservoir; en même temps, on conservera à ce dernier sa capacité utile.

Si les eaux de source sont assez abondantes pour que l'on puisse se passer des eaux superficielles ou si on veut absolument exclure ces dernières, quand elles sont troubles, on entoure le réservoir d'un fossé de ceinture qui peut, à volonté, les recueillir et les écouler en dehors.

171. Ouvrages de prise d'eau du réservoir de Montaubry. — A Montaubry, à l'exception d'un déversoir de superficie de 8 mètres de longueur ouvert dans le coteau à l'extrémité gauche de la digue, tous les ouvrages destinés à l'émission de l'eau, prises d'eau et bonde de fond, sont concentrés dans un ouvrage unique établi sur le thalweg de la vallée vers l'extrémité droite de la digue (pl. LXXX).

Cet ouvrage consiste essentiellement en un puits de 1 m. 10 de diamètre intérieur et de toute la hauteur de la digue, qui communique vers l'aval avec un aqueduc voûté, de 1 mètre de

Digitized by Google



Pl. LXXX. OUVRAGES DE PRISE D'EAU DU RÉSERVOIR DE MONTAUBRY

Digitized by Google

largeur et de 2 mètres de hauteur, placé à sa partie inférieure. Vers l'amont, la paroi du même puits est percée de trois ouvertures dont l'une est à 5 m. 20 au-dessous de la retenue normale, la deuxième à 10 m. 20 et la troisième en face de l'aqueduc d'évacuation dont il a été parlé.

Aux deux dernières ouvertures aboutissent des aqueducs établis vers l'amont sous le talus intérieur de la digue, et ces aqueducs eux-mêmes sont terminés par des murs en aile dans lesquels sont ménagées des rainures à poutrelles. La tête amont de chaque aqueduc est garnie d'un cadre en charpente, dans lequel est ménagé un orifice de 0 m. 60 sur 0 m 30 que ferme une vanne manœuvrée d'une plate-forme immédiatement supérieure.

Grâce à ces dispositions, on peut, en ouvrant la vanne supérieure, effectuer un premier emprunt d'une tranche d'eau de 5 m. 20. On passe à une deuxième tranche lorsque la première plate-forme, découverte, permet d'ouvrir la deuxième vanne ; et, après l'épuisement de cette deuxième tranche, la troisième vanne devient accessible. Cette dernière ayant son seuil à 15 m. 20 au-dessous de la retenue normale, on voit qu'on n'aura jamais eu à manœuvrer les vannes sous une pression d'eau supérieure à 5 m. 20.

Si quelque circonstance imprévue nécessite l'arrêt de l'écoulement, on a la ressource des poutrelles pour suppléer, en cas de besoin, à l'insuffisance des vannes, et on peut, d'autre part, à l'abri de ces poutrelles, effectuer les réparations nécessaires.

On a soin, d'ailleurs, en barrant partiellement l'issue de l'aqueduc de décharge, de laisser *un matelas d'eau* au fond du puits pour diminuer le choc résultant de la masse liquide qui provient des aqueducs supérieurs. Il est à peine utile d'ajouter que la maçonnerie d'un puits de ce genre ne saurait être trop soignée pour résister à l'action des eaux animées d'une grande vitesse qui en frappent la paroi.

L'aqueduc inférieur, correspondant à la troisième vanne,

Digitized by Google

remplit le rôle de bonde de fond et sert à la vidange du réservoir en même temps qu'à l'entraînement des vases, qui se déposent toujours au pied de la digue dans les parties profondes.

On a ainsi obtenu une solution complète de la question. Un seul ouvrage permet de satisfaire à toutes les exigences de l'écoulement des eaux par les vannes de prise d'eau et par la bonde de fond. Cet ouvrage est d'un grand relief, il est vrai, mais il n'exige qu'une seule fondation, qui est même relativement d'une faible étendue. Les dispositions adoptées à Montaubry se justifient bien dans l'espèce, la vallée à barrer présentant des versants argileux, en même temps qu'elle offrait dans son thalweg une assiette parfaitement sûre pour l'établissement d'un ouvrage important.

172. Dissémination des ouvrages de prise d'eau. — Avec des versants où le rocher serait plus près de la surface qu'aux environs du thalweg, ce type aurait moins sa raison d'être, et les divers orifices d'écoulement pourraient être plus rationnellement répartis à des hauteurs diverses, à flanc de coteau, chacun avec sa fondation séparée et ses ouvrages spéciaux. La construction peut être alors plus économique en disséminant les ouvrages qu'en les groupant et c'est, au point de vue de la dépense, une comparaison à faire dans chaque cas particulier.

Au point de vue de la sécurité et de la facilité des manœuvres, il y a avantage évident à cette seconde manière de faire.

On sait, en effet, que les filtrations sont d'autant plus à craindre que les surfaces de jonction des maçonneries et des remblais sont plus considérables, surtout quand ces surfaces sont verticales. Or, avec un grand ouvrage unique, au point le plus haut de la digue, il y a, quoi qu'on fasse, de grandes surfaces verticales, le long desquelles des mouvements peuvent se produire et des glissements se propager. Il est donc plus

Digitized by Google

sage, si le terrain s'y prête, de répartir les prises d'eau sur plusieurs emplacements choisis au point de vue de l'assiette des ouvrages et de la facilité des manœuvres.

A plus forte raison, en serait-il ainsi, si le thalweg ne présentait que des fondations incertaines.

Au réservoir de la Liez, les prises d'eau et la bonde de fond ont donné lieu à l'établissement de deux ouvrages distincts situés, le premier à 72 m. 50 de l'extrémité gauche de la digue, le second, sur le thalweg, à 80 mètres du premier. Les vannes de prise d'eau, au nombre de deux, ont leurs seuils respectivement à 5 m. 50 et 11 m. 09 au-dessous de la retenue normale ; le seuil de la bonde de fond est à 14,67 au-dessous du même niveau. En outre, des ouvrages régulateurs du niveau de la retenue ont été établis dans le prolongement de la digue à son extrémité de rive gauche ; ils comprennent un déversoir fixe de 25 mètres de longueur et un vannage formé de cinq vannes de 1 m. 25 de largeur libre sur 1 m. 25 de hauteur en contre-bas de la retenue.

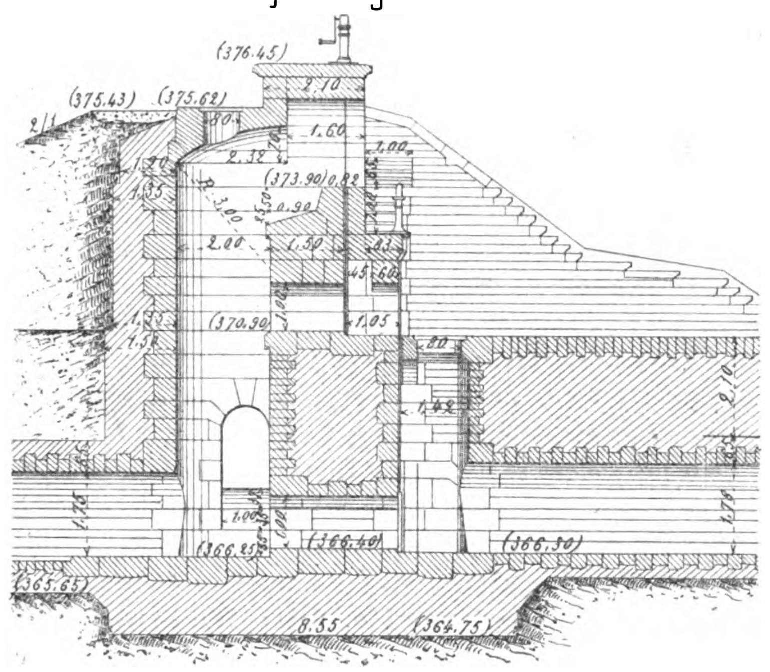
Dans sa notice déjà citée sur l'exhaussement de la digue du réservoir de Panthier[1], M. Bazin fait remarquer avec beaucoup de raison que la bonde de fond se manœuvre peu, tandis que les vannes supérieures sont constamment utilisées pendant la saison sèche. Ce sont ces dernières qui desservent presque tout l'écoulement, d'abord, parce qu'on ne vide que très rarement le réservoir d'une manière complète, ensuite, en raison de ce que, par la forme même des versants, *le grand volume d'eau se trouve à la partie supérieure*. Ainsi, si l'on divise la retenue de Panthier, haute de 13 m. 60, par un plan horizontal passant à 7 m. 50 au-dessous du niveau normal, la capacité de la portion supérieure à ce plan sera de 6.700.000 mètres cubes, tandis que le volume inférieur, malgré sa hauteur de 6 m. 10, ne sera que d'un million de mètres cubes.

Il vaut donc mieux, à tous égards, assurer dans de bonnes

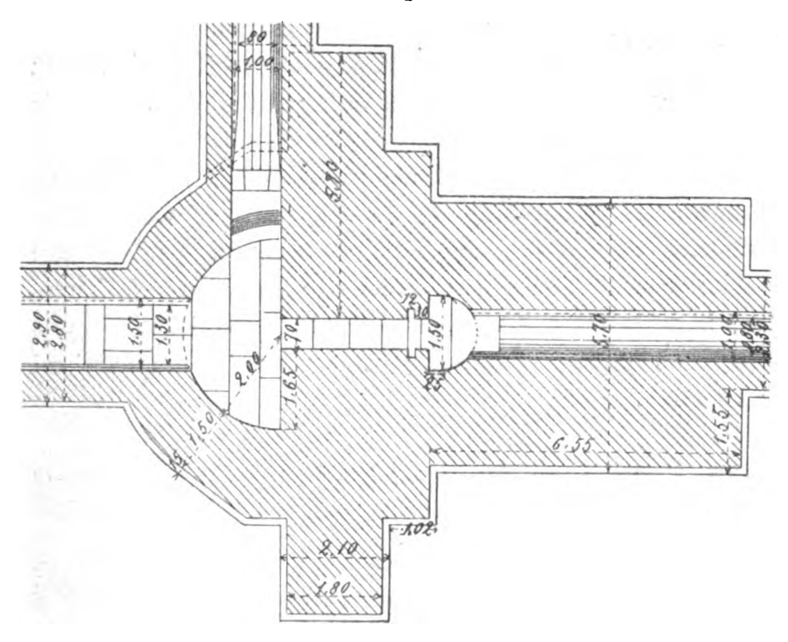
1. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1880, 2e semestre.

Digitized by Google

Coupe longitudinale.



Plan au niveau des aqueducs inférieurs.



Pl. LXXXI. OUVRAGES DE PRISE D'EAU DU RÉSERVOIR DE PANTHIER

Digitized by Google

conditions le service des tranches supérieures, quand le terrain s'y prête, et laisser à la bonde de fond son rôle d'ouvrage restreint, en troublant le moins possible l'homogénéité de la digue à son point culminant.

Conformément à ces principes, la vanne fermant l'aqueduc de vidange établi au milieu de la digue de Panthier, vanne qui, avant l'exhaussement, était l'unique vanne de prise d'eau, a été conservée seulement comme bonde de fond; la nouvelle prise d'eau a été établie à flanc de coteau, à 60 mètres seulement de l'extrémité droite de la digue.

Cette prise d'eau se compose d'abord de deux vannes supérieures larges de 0 m. 70 et hautes de 1 mètre, ayant leur seuil à 3 mètres au-dessous du niveau normal de la retenue fixé à l'altitude (373.90) (pl. LXXXI). Puis, à 4 m. 50 au-dessous de ce premier système, c'est-à-dire à 7 m. 50 en contre-bas du niveau normal, on a placé une autre vanne également de 0 m. 70 sur 1 mètre. Les premières prennent leur eau directement dans le réservoir, la dernière la reçoit par un aqueduc souterrain ; l'ensemble de l'ouvrage, établi partie en déblai partie en remblai, ne présente qu'un très faible relief au-dessus du sol, ce qui est une grande garantie contre les accidents, tant au point de vue de leur éventualité qu'à celui de la gravité de leurs conséquences.

D'autre part, l'expérience acquise avec l'ancienne retenue ayant montré qu'une longueur de déversoir de 4 mètres était suffisante, on n'a pas jugé utile de construire un ouvrage spécial d'aussi faibles dimensions ; le déversement s'opère dans le puits qui sert aux prises d'eau. A cet effet, le puits a reçu un contour demi-cylindrique dont le diamètre est de 4 mètres.

173. Prise d'eau de Torcy-Neuf. — Au réservoir de Torcy-Neuf[1], on a réuni dans un même ouvrage les prises

1. Construit de 1883 à 1887 pour l'alimentation du canal du Centre. Voir la *Collection de dessins distribués aux élèves de l'Ecole des Ponts et Chaussées*, tome III, page 970.

Digitized by Google

d'eau, la bonde de fond et même un déversoir de superficie ; mais cet ouvrage, qui consiste en une tour élevée dans le réservoir au pied de la digue, en est complètement isolé (pl. LXXXII, page 403).

La tour est carrée à l'extérieur. A l'intérieur, elle présente un puits vertical de 1 m. 50 de diamètre, où débouchent les orifices de prise d'eau et tombent les déversements. Ce puits s'ouvre en bas dans l'aqueduc de fuite.

Le couronnement de la tour est à la même hauteur que celui de la digue, soit à 16 m. 30 au-dessus du radier de la bonde de fond. On y trouve une plate-forme carrée de 3 m. 50 de côté sur laquelle sont établis les appareils de manœuvre des vannes. Les faces de la tour présentent un fruit de $\frac{1}{20}$.

Le puits se prolonge par une chambre cylindrique de même diamètre et de 2 mètres de profondeur, constamment pleine d'eau pour amortir l'effet destructeur du choc de l'eau sur les maçonneries.

Les prises d'eau, au nombre de trois y compris la bonde de fond, sont étagées verticalement à 4 m. 80 l'une au-dessus de l'autre [1]. Les deux prises supérieures sont de simples ouvertures de section rectangulaire, mesurant 0 m. 80 de largeur sur 0 m. 40 de hauteur, percées dans les faces latérales de la tour. Leur radier coupe le parement du puits sous un angle de 45°, de façon que les filets liquides viennent frapper très obliquement les maçonneries.

Quant au déversoir, il se compose de quatre ouvertures, de 2 m. 20 de longueur chacune, pratiquées au sommet de la tour dans les quatre faces. Les tablettes de ces déversoirs sont arasées à 0 m. 40 en contrebas du niveau de la retenue. Chacune d'elles est surmontée d'une hausse en chêne de 0 m. 40 de hauteur, maintenue par des fers en ⊔ adossés aux piédroits. Ces hausses s'enlèvent en cas de crue.

1. La prise d'eau inférieure ou bonde de fond ayant son seuil à 14 m. 50 au-dessous de la retenue, les seuils des deux autres sont respectivement à 9 m. 70 et à 4 m. 90 au-dessous du même niveau.

Digitized by Google

On accède à la tour, depuis la digue, au moyen d'une passerelle métallique. Le plancher en tôle striée, de 21 m. 40 de longueur, est supporté par deux arcs de 18 m. 20 de corde et de 2 m. 157 de flèche.

Ce système de prise d'eau présente un avantage sérieux d'économie, tout en donnant plus de sécurité pour la stabilité de la digue et permettant plus facilement les réparations.

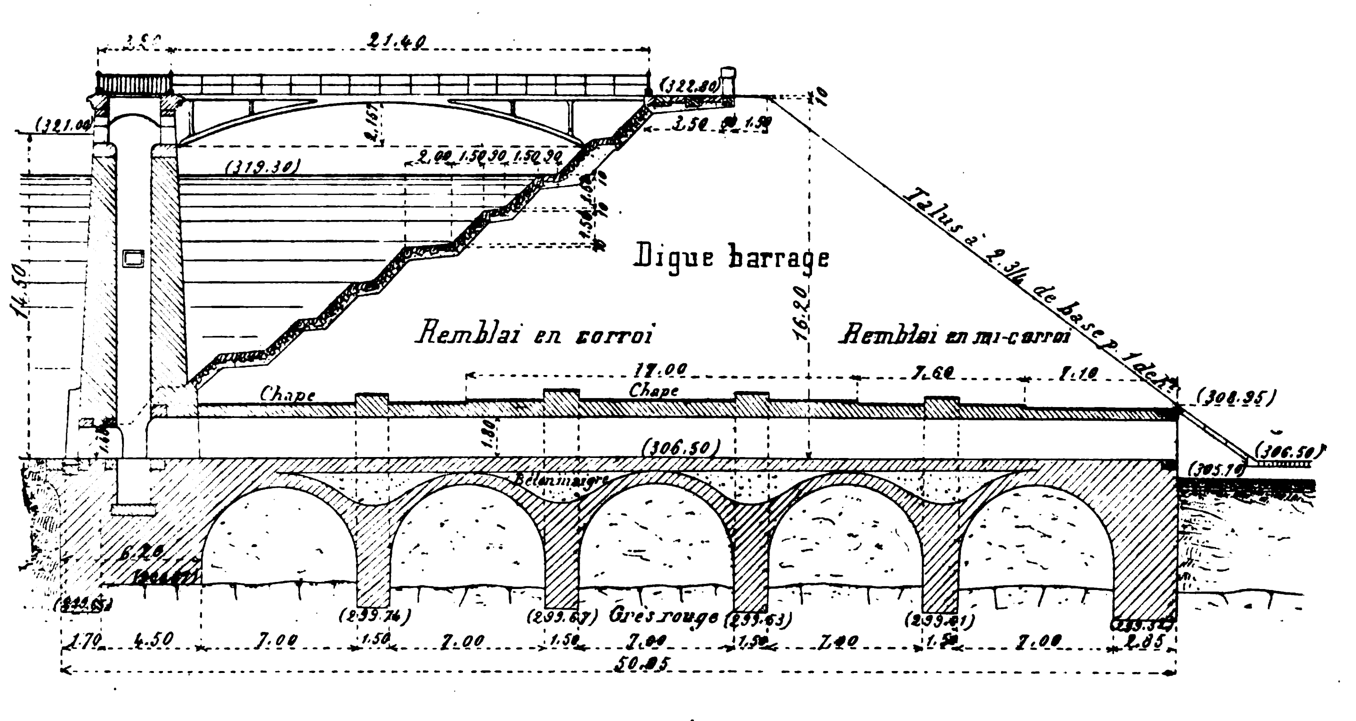
L'interposition du massif ordinaire des bonde et prises d'eau dans une digue en terre, au point où sa hauteur est la plus grande, en rompt l'unité et l'homogénéité. Des deux côtés de ce massif, les terres sont forcément battues à la main, c'est-à-dire assez mal, quelques soins qu'on y apporte. Avec la tour, la digue n'est plus coupée que par l'aqueduc de fuite, tout à fait à sa partie basse ; le battage à la main est aussi réduit que possible ; dès qu'on dépasse le sommet de l'aqueduc de fuite, tous les corrois se font au rouleau, beaucoup mieux par conséquent ; il n'y a plus de danger de séparation dans la masse.

Ce système offre, en outre, un avantage précieux pour l'accès des vannes, leur entretien et éventuellement leur réparation.

Généralement, les orifices de prise d'eau sont fermés par des vannes rectangulaires à coulisse, qui ont le grave inconvénient de donner lieu, sous de fortes charges d'eau, à des frottements très considérables. Il faut recourir à des crics puissants et coûteux, dont les frottements augmentent encore notablement l'effort à produire ; il est indispensable de les fixer, par de lourdes armatures, à de très forts cubes de maçonneries, pour que ceux-ci ne soient pas ébranlés.

Au réservoir de Torcy-Neuf, on a installé des vannes d'un système spécial dû à M. l'ingénieur en chef Résal, qui supprime à peu près complètement le frottement de glissement et y substitue le frottement de roulement. La description de cet ingénieux système nous entraînerait à de trop longs développements ; nous devons nous borner à le signaler, en renvoyant les lecteurs qui voudraient en connaître les détails, à la publication déjà mentionnée au commencement de cet article.

Digitized by Google



Pl. LXXXII. PRISE D'EAU DU RÉSERVOIR DE TORCY-NEUF

Digitized by Google

Mais, à défaut de ces vannes spéciales, il semble qu'on aurait pu avoir recours aux vannes cylindriques basses dont nous avons parlé dans un autre volume [1]. Ces dernières ont fait leurs preuves et, bien qu'elles n'aient pas encore été employées, à notre connaissance, pour les réservoirs, elles y trouveraient une application naturelle. On sait, en effet, que ce système de vannes supprime la pression verticale qui tendrait à s'opposer à leur mouvement et fonctionne, par conséquent, avec la même facilité, quelle que soit la charge d'eau.

Indépendamment des quatre ouvertures de 2 m. 20 de longueur chacune, pratiquées au sommet de la tour dans les quatre faces et formant déversoir, un déversoir de décharge de 12 mètres de longueur a été établi à l'extrémité gauche de la digue de Torcy-Neuf.

Il est arasé à 0 m. 70 en contrebas du niveau de la retenue. La hauteur de celle-ci est regagnée par des hausses mobiles en bois, de petite longueur, maintenues dans des montants métalliques formés de fers en ⊔ adossés. En cas de crue, les hausses, formées de quatre madriers horizontaux superposés, peuvent aisément s'enlever à la main, en totalité ou en partie.

174. Observations sur les déversoirs. — Il est indispensable que, en dehors de tout emprunt fait à un réservoir pour les besoins de la navigation, les eaux surabondantes, provenant, par exemple, d'une pluie exceptionnelle ou d'une fonte de neige, puissent s'écouler sans surélever notablement le niveau de la retenue. Une surélevation excessive de ce niveau pourrait avoir les plus funestes conséquences, ainsi que nous le verrons plus loin ; quelle qu'elle soit, elle modifie les conditions de stabilité en vue de laquelle la digue a été établie. De là la nécessité des déversoirs de superficie, régulateurs automatiques du niveau de la retenue. Quelquefois, comme à Panthier, ils sont réunis aux ouvrages de prise d'eau ; le plus souvent, ils en sont indépendants.

1. *Rivières canalisées*, page 314.

Digitized by Google

Ils se placent alors, soit le long d'un des versants, soit à l'une des extrémités ou même dans le prolongement de la digue, afin que la chute immédiate de l'eau soit faible et que les fondations soient faciles. Par contre, le canal de fuite d'un déversoir établi dans ces conditions, devant ramener les eaux qu'il reçoit dans le thalweg de la vallée, a nécessairement à racheter une différence de niveau considérable. Pour éviter une longueur ou une pente excessive, le radier d'un canal de ce genre présente généralement une succession de chutes séparées par des plans légèrement inclinés (pl. LXXXIII, page 406).

En principe, le déversoir régulateur de la retenue d'un réservoir doit pouvoir, sans que le relèvement du niveau de cette retenue dépasse une limite déterminée, débiter par seconde le volume d'eau maximum qui peut affluer au réservoir dans les circonstances les plus défavorables. Et dans le cas où cet afflux peut être considérable, une double difficulté se présente. Si la crête du déversoir est dérasée dans le plan de la retenue ou en reste très voisine, il faut lui donner une longueur dont la réalisation n'est pas toujours pratiquement possible. Si pour réduire la longueur on abaisse notablement la crête du déversoir, on diminue d'autant la hauteur de retenue effective et, par conséquent, la capacité du réservoir.

Pour échapper à ce dilemme on s'est résigné dans certains cas à accoler au déversoir un vannage de décharge. Le réservoir de la Liez offre un exemple de cette disposition. Au déversoir long de 25 mètres, arasé au niveau de la retenue, est accolé un vannage composé de cinq vannes mesurant, chacune, 1 m. 25 de largeur libre et 1 m. 25 de hauteur au-dessous de ce même niveau. Sous l'influence d'une surélévation accidentelle de 0 m. 20 du niveau normal de la retenue, surélévation absolument inoffensive, l'ensemble des ouvrages peut écouler un volume de 25 mc. 143 par seconde, bien supérieur au débit des plus grandes crues de la Liez.

Ailleurs le déversoir a été transformé en un véritable van-

Digitized by Google

Coupe sur l'axe $(\frac{1}{200})$

Pl. LXXXIII. CANAL DE FUITE DU DÉVERSOIR DU RÉSERVOIR DU TILLOT

Digitized by Google

nage de décharge. C'est le cas du réservoir de Torcy-Neuf où le déversoir, arasé à 0 m. 70 en contrebas du niveau de la retenue, est surmonté de hausses de 0 m. 70 de hauteur, manœuvrables et manœuvrées, en tout ou en partie, à la main. Avec une lame déversante de 0 m. 50, on peut écouler en 24 heures 660.000 mètres cubes, soit près de 4 fois le volume total que donnerait un orage exceptionnel.

Des combinaisons comme celles que nous venons de mentionner peuvent, on le voit, donner toute sécurité, mais il faut bien reconnaître qu'elles enlèvent aux déversoirs leur caractère de *régulateurs automatiques*.

175. Déversoir-siphon de Mittersheim. — C'est pour conserver le bénéfice du règlement automatique qu'on a fait, au réservoir de Mittersheim, emploi d'un déversoir-siphon. En effet le siphon, une fois amorcé, donne tout le débit que comportent son diamètre et la chute ; et, si on a eu soin de lui assigner un diamètre assez grand pour que, avec la chute dont on dispose, il laisse échapper toute l'eau affluente au réservoir, il n'y a aucune raison pour que le niveau monte. Le problème consiste tout entier dans la manière d'amorcer ou de désarmorcer le siphon quand il en est besoin ; il a été résolu d'une façon fort ingénieuse par M. Hirsch [1] (pl. LXXXIV, page 409).

A côté du siphon, qui a 0 m. 70 de diamètre, M. Hirsch a placé un tuyau amorceur de 0 m. 15 seulement, dont l'extrémité supérieure débouche dans le réservoir par un élargissement appelé tête. Ce tuyau ne siphonne pas ; il se termine par une partie horizontale établie au niveau de la retenue.

La tête de l'amorceur est munie de deux lèvres, dont l'une, la lèvre inférieure, est précisément au niveau réglementaire de la retenue, tandis que l'autre, la lèvre supérieure, est à 5 millimètres au-dessus. La partie supérieure du tuyau amor-

1. Voir pour plus de détails la note, déjà citée, de M. l'ingénieur Hirsch insérée aux *Annales des ponts et chaussées*, 1869, 1er semestre.

Digitized by Google

ceur communique avec le sommet du siphon, tandis que la partie inférieure de l'un et de l'autre est constamment noyée dans le puisard d'évacuation des eaux.

Lorsque le niveau de l'eau dans le réservoir dépasse la lèvre inférieure de l'amorceur, celui-ci commence à donner et, dès que ce niveau a monté de 5 millimètres, la lèvre supérieure est noyée à son tour. A ce moment, à raison de l'écoulement qui s'effectue par le petit tuyau, l'air contenu dans la partie supérieure du siphon est aspiré ; l'eau y monte et le siphon s'amorce de lui-même. Au bout d'un certain temps, lorsque le niveau de l'eau dans le réservoir s'est suffisamment abaissé pour laisser émerger la lèvre supérieure de la tête de l'amorceur, l'air rentre et va se loger dans la partie supérieure du siphon ; celui-ci se désarmorce et cesse de fonctionner.

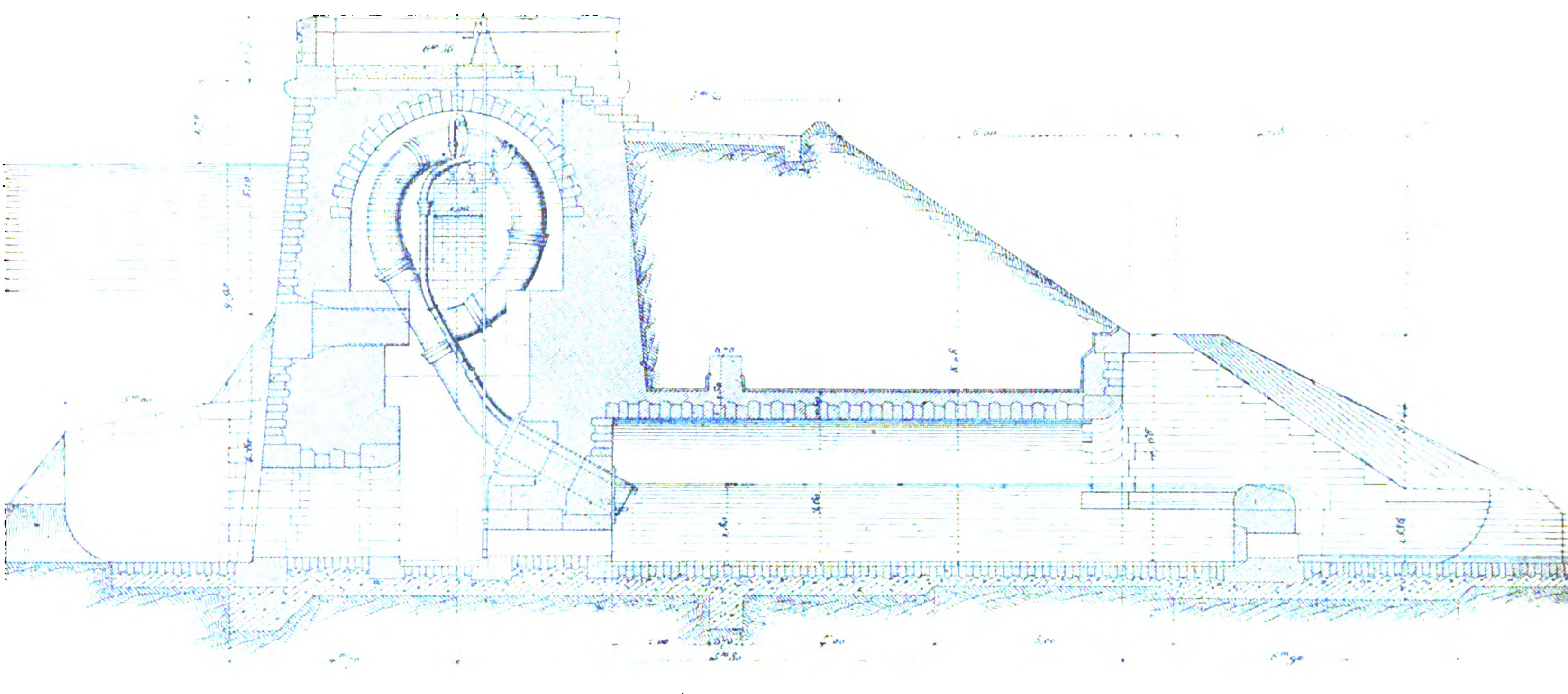
Ainsi, tant que le niveau réglementaire n'est pas dépassé, l'appareil reste étanche. Dès que ce niveau est dépassé d'une manière appréciable, le siphon fonctionne avec toute sa puissance de débit (3 mc. 30 par seconde) ; et, entre ces deux limites très rapprochées, il donne écoulement à un mélange d'air et d'eau. Le système est donc complètement automatique.

Pour débiter les 6 mc. 50 que peuvent donner, au maximum, les affluents du réservoir, on a juxtaposé deux siphons, munis chacun de leur amorceur. On en a de plus évasé la tête pour éviter la contraction. Enfin, on a placé entre les lèvres de l'amorceur une vanette qui donne une facilité de plus pour régler le débit, de telle sorte que l'appareil a toute la précision désirable.

Le siphon a reçu une disposition contournée qui lui permet de diriger l'eau par un rayon de courbure de 1 m. 44 et dont la forme circulaire diminue les effets considérables de la force centrifuge ou, du moins, permet de mieux y résister.

Tout le système est enfermé dans une tour qui le tient à l'abri des vagues, des corps flottants et des glaces ; divers organes permettent de modifier, comme on le veut, d'interrompre même, le cas échéant, le mouvement des eaux.

Digitized by Google



Pl. LXXXIV. DÉVERSOIR-SIPHON DE MITTERSHEIM

Digitized by Google

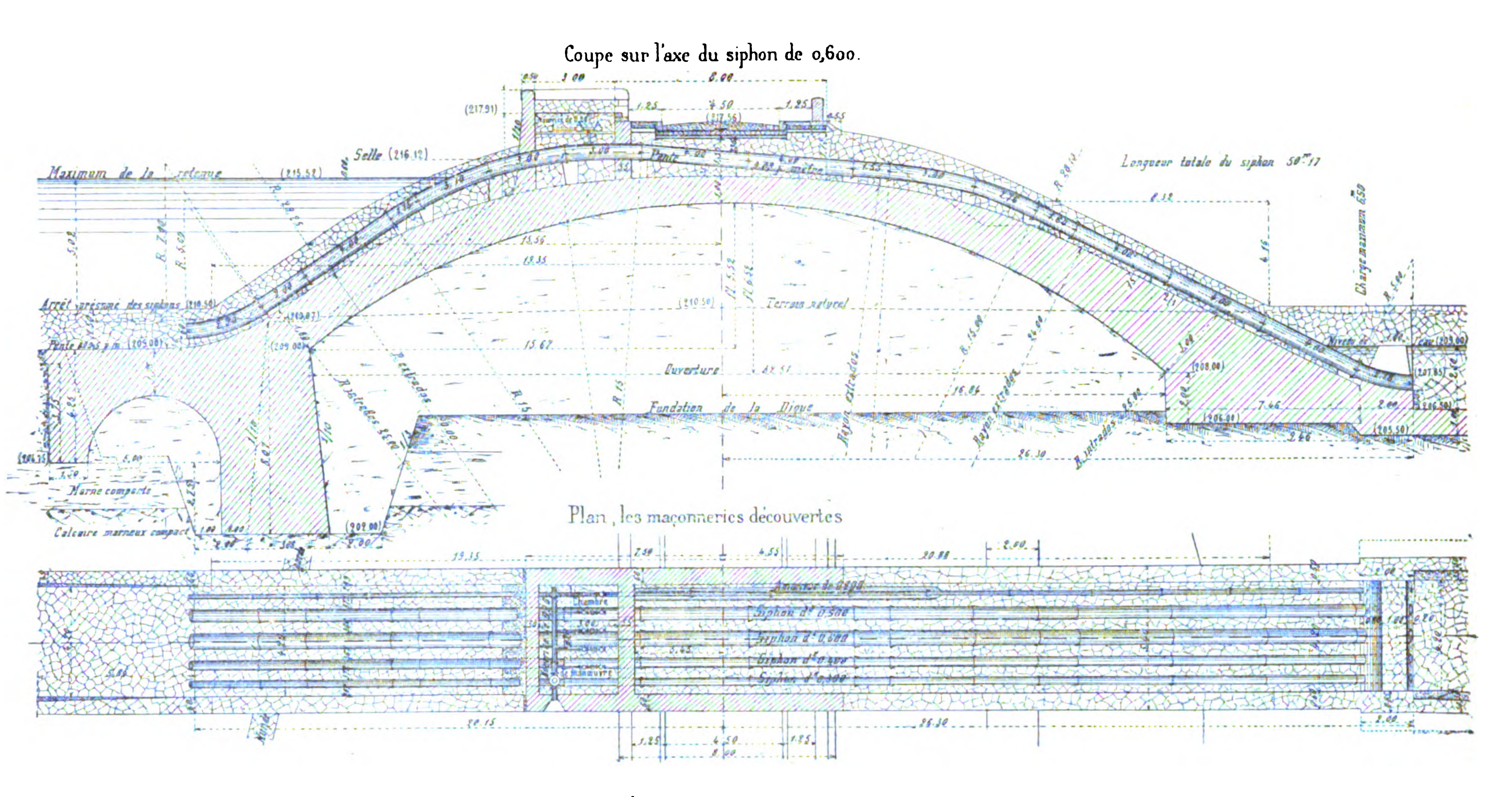
Il y a près de quarante ans que le déversoir-siphon de Mittersheim a été établi ; il n'a pas cessé de fonctionner d'une manière irréprochable.

176. Siphons du réservoir du Bourdon. — Une application intéressante de l'emploi de siphons doit être faite au réservoir du Bourdon, actuellement en construction pour l'alimentation du canal de Briare. Indépendamment de deux conduites de fond pourvues de robinets-vannes et d'un déversoir de superficie, les ouvrages régulateurs doivent comprendre, aux lieu et place des prises d'eau habituelles, une batterie de quatre siphons commandés par un siphon amorceur, qui permettra soit de vider la tranche d'eau supérieure sur 5 mètres de hauteur sans le secours des conduites de fond, soit d'augmenter le débit d'écoulement en cas d'insuffisance de ces derniers ouvrages. Le système adopté est, en outre, susceptible de fonctionner automatiquement pour concourir à l'évacuation des eaux de crues au cas où le déversoir de superficie prévu à cet effet deviendrait insuffisant ; il en résultera pour la digue un surcroît de sécurité qui n'est pas sans intérêt.

L'emplacement des siphons est choisi de telle sorte qu'ils puissent passer au-dessus du noyau de la digue sans l'entamer et sans altérer en rien son homogénéité (pl. LXXXV). L'amorceur a 0 m.20 de diamètre, les quatre siphons respectivement 0 m. 30, 0 m. 40, 0 m. 50 et 0 m. 60. Cette variété permettra de régler les débits conformément aux besoins variables de l'alimentation, au moyen des nombreuses combinaisons qui pourront être réalisées.

L'expérience montre que l'amorçage d'un siphon se produit tout seul quand le plan d'eau d'amont se trouve au-dessus de la selle de ce siphon d'une hauteur égale au tiers du diamètre du tuyau. L'amorceur, ayant sa selle à 0 m. 07 au-dessous du niveau maximum de la retenue (pl. LXXXVI, page 413), entrera en fonction de lui-même lorsque le plan d'eau dans le réservoir atteindra ce niveau.

Digitized by Google



Pl. LXXXV. SIPHONS DU RÉSERVOIR DU BOURDON. — DESSINS D'ENSEMBLE.

Digitized by Google

Pour obtenir sa mise en route quand le plan d'eau se sera abaissé, on y fera le vide partiel nécessaire, soit à l'aide d'une petite pompe à air manœuvrée à la main, soit au moyen d'un réservoir en tôle de capacité convenable préalablement rempli d'eau et où l'on provoquera le vide par l'écoulement de l'eau.

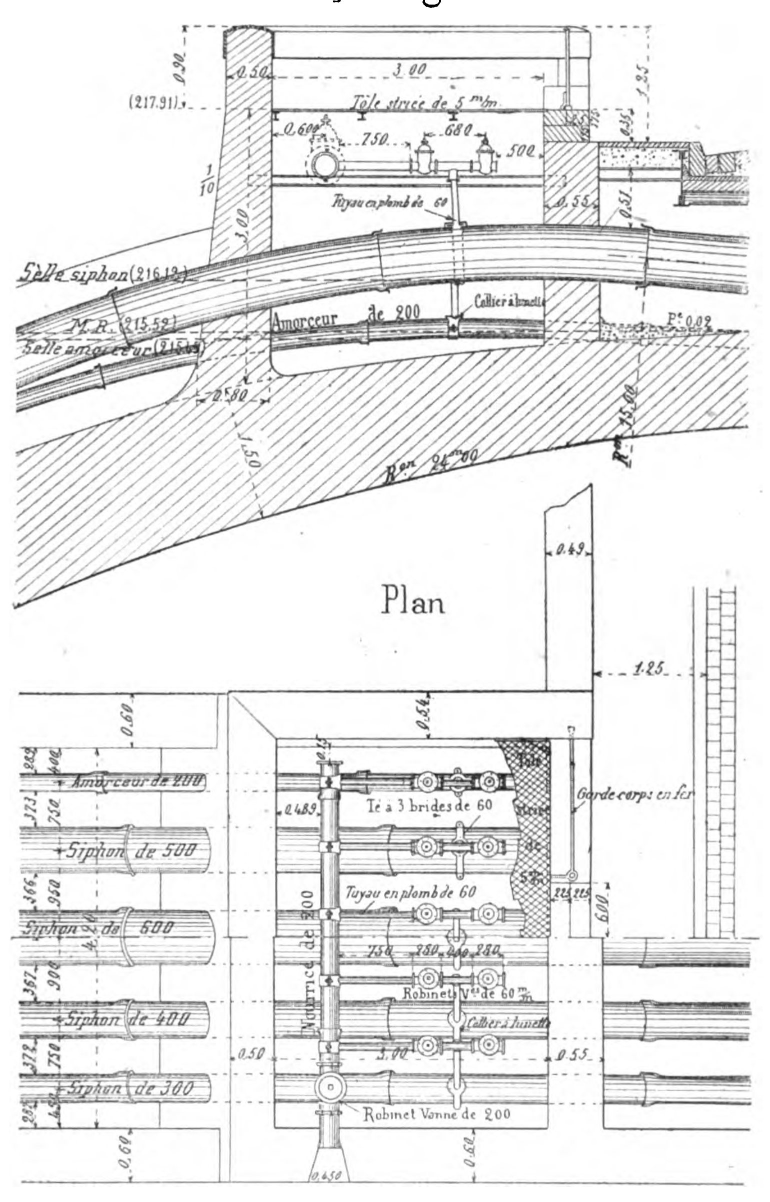
Quant à l'amorçage des siphons proprement dits, il sera produit par le siphon amorceur, en mettant chacun d'eux en communication avec ce dernier. A cet effet, chaque siphon sera muni, à son point haut, d'un tuyau d'amorçage en plomb de 0 m. 06 de diamètre en communication avec un tuyau en fonte de 0 m. 20 de diamètre formant nourrice, et pourra, grâce à un double système de robinets-vannes, être mis en communication, soit avec la nourrice pour l'amorçage, soit avec l'extérieur pour le désamorçage (pl. LXXXVI). Toute cette robinetterie sera renfermée dans une chambre de manœuvre en maçonnerie de 3 mètres sur 4 m. 20, adossée au parapet amont de la digue.

177. Digues du système anglais. — En Angleterre, en Amérique, en Australie, où de nombreux réservoirs avec digue en terre ont été créés, notamment pour l'alimentation en eau des villes, on a adopté des dispositions absolument opposées à celles qui ont prévalu en France.

L'ouvrage de retenue comporte un massif central, en argile corroyée, pénétrant dans une profonde tranchée, jusqu'au terrain imperméable (pl. LXXXVII-A, page 415). Deux autres massifs en matériaux fins et doux, en terre végétale par exemple, appuient de chaque côté le corroi central et sont eux-mêmes recouverts de remblais de qualité moins choisie, qui complètent la digue. L'empattement de cette dernière est considérable.

D'après les ingénieurs les plus expérimentés, le noyau d'argile corroyée doit présenter en chaque point une épaisseur au moins égale au tiers de la distance verticale entre la section considérée et le niveau maximum de l'eau dans le réservoir.

Digitized by Google



Pl. LXXXVI. SIPHONS DU RÉSERVOIR DU BOURDON.
CHAMBRE DE MANŒUVRE.

Digitized by Google

Par exemple, le noyau d'argile, dans une digue destinée à supporter une charge de 30 mètres d'eau, devrait avoir au moins 10 mètres d'épaisseur à la base. Quant aux deux massifs de matériaux fins, ils doivent avoir, respectivement, une épaisseur au moins égale à celle du corroi.

Tandis que dans le système français, chaque élément du massif de la digue concourt à la fois à l'étanchéité et à la stabilité de l'ouvrage, dans le système anglais, ce massif est formé de parties ayant, théoriquement au moins, un rôle spécial.

Le noyau central assure l'étanchéité.

Les deux massifs en matériaux fins, entre lesquels il est compris, doivent le préserver de l'action de l'eau à l'amont et de l'action de l'air à l'aval, actions qui auraient l'une et l'autre pour résultat la production de fissures.

Les remblais superposés à ces deux massifs complètent la masse nécessaire pour assurer la stabilité. Toutefois il ne faudrait pas croire que ces terrassements peuvent être exécutés sans précautions spéciales. Ils doivent être déposés et pilonnés par couches de 0 m. 15 environ d'épaisseur.

D'après les autorités déjà citées, on ne doit admettre aucun orifice d'écoulement dans une digue de ce genre. Aqueducs en maçonnerie ou conduites métalliques doivent partir d'un puits construit à l'intérieur du réservoir, en dehors de la digue, et être établis sur l'un des versants de la vallée, en tranchée dans des terrains résistants et même en tunnel, si cela est nécessaire pour éviter des terrains meubles. Plutôt que de renoncer à cette dernière garantie, il vaudrait mieux placer l'aqueduc à quelques mètres au-dessus du fond du réservoir, sauf à avoir recours à un siphon dans le cas où une vidange complète serait indispensable.

178. Digues de l'Inde. — Dans l'Inde, le développement des irrigations a donné à la construction des réservoirs une extension véritablement extraordinaire [1]. La plupart des digues

1. C'est ainsi que dans la seule province de Madras, il existe de 50.000

Digitized by Google

A. DIGUE DE RÉSERVOIR DU SYSTÈME ANGLAIS.

Niveau maximum des eaux

Pente de 3 pour 1

Remblai en matériaux de choix

Fruit de 1/6

Massif en argile corroyée

Fruit de 1/6

Remblai en terres de choix

Pente de 2 1/2 pour 1.

9.15 — 3.50 — 3.50 — 28.90 — 30.20 — 73.20 — 12.20 — 12.20 — 12.20 — 57.70 — 167.50

B. DIGUE DU RÉSERVOIR DE CUMMUN DANS L'INDE.

Pente pavée de 3 pour 1

Pente de 1/2 p. 1

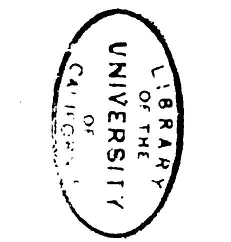
Pente de 1 p. 1

Pente de 1 p. 1

Parement revêtu de pierres formant gradins

23.20 — 1.5/1 — 28.66 — 22.00 — 31.00 — 24.40 — 17.60 — 6.60 — 90.00 — 23.20 — 26.00

Pl. LXXXVII. TYPES EXOTIQUES DE DIGUES DE RÉSERVOIR EN TERRE



Digitized by Google

sont en terre ; quelques-unes remontent à l'antiquité la plus reculée ; et il est aisé de se faire une idée de la manière dont les chantiers étaient organisés à ces époques lointaines.

Des populations entières étaient convoquées, hommes, femmes, enfants. Muni d'un panier, d'un *couffin*, comme on dit dans le Midi, et d'une pelle, chaque individu allait gratter sur les coteaux voisins un peu de terre qu'il venait ensuite répandre à l'emplacement de la digue, apportant ainsi à l'œuvre commune un élément infinitésimal. Le piétinement de ces foules, auxquelles se mêlaient parfois des animaux, voire même des éléphants, constituait un merveilleux corroyage que complétait l'action alternative des pluies torrentielles de la Mousson et des rayons brûlants du soleil. Ainsi s'élevaient insensiblement dans des conditions exceptionnelles d'homogénéité, de compacité et d'étanchéité, ces massifs énormes, véritables collines artificielles dont la planche LXXXVII-B montre un spécimen. Elle représente la coupe transversale de la digue du réservoir de Cummun, situé dans la province de Madras et dont la construction remonte aux premiers temps de l'histoire des Hindous.

La hauteur de la digue est de 31 mètres ; sa largeur en couronne de 23 m. 20.

La pente du talus d'amont est de 3 pour 1 ; celle du talus d'aval est beaucoup plus raide ; mais tandis que la première est simplement pavée, la seconde est revêtue de fortes pierres de taille disposées en escalier.

La plus grande profondeur d'eau est de 28 m. 66, laissant ainsi 2 m. 34 au moins de revanche au couronnement.

Des aqueducs d'écoulement, très solidement fondés, ont été établis aux deux extrémités de la digue, c'est-à-dire aux points où elle s'appuie sur les coteaux.

Quant au déversoir, il a été établit à deux kilomètres et

à 60.000 réservoirs, dont les digues ont ensemble près de 50.000 kilomètres de longueur. On trouve des détails fort intéressants sur ce sujet dans le rapport présenté par M. Barois au Ve *Congrès international de navigation intérieure*.

Digitized by Google

demi de la digue, au moyen d'une tranchée creusée dans les collines voisines, et il jette ses eaux dans un ravin qui les mène à la vallée principale après un parcours assez long. On semble avoir évité avec soin d'exposer la digue et les versants sur lesquels elle s'appuie, à l'action possible d'une lame déversante de 70 mètres de largeur sur une hauteur que les pluies torrentielles d'un climat tropical peuvent rendre, à de certains moments, pleine de dangers.

Si un très grand nombre des réservoirs de l'Inde sont de très anciens ouvrages que les ingénieurs modernes n'ont eu qu'à perfectionner, à consolider ou à compléter, il en existe aussi de très beaux qui sont de construction récente. Dans l'établissement des nouvelles digues en terre, on paraît avoir tantôt suivi les anciens errements du pays, tantôt appliqué, au moins dans une certaine mesure, les dispositions du système anglais.

179. Ruptures de digues en terre. — Après avoir fait connaître les dispositions adoptées en divers pays pour la construction des digues de réservoir en terre, rien ne peut être plus instructif que de signaler les graves accidents subis par quelques-uns de ces ouvrages et de faire ressortir les circonstances dans lesquelles ces accidents se sont produits.

La rupture de la *digue de Longpendu*, au canal du Centre, le 24 ventôse an IX, est la première sur laquelle on ait quelques détails. Elle a été occasionnée par des filtrations à travers le corps de la digue ; les dégâts ont été considérables ; quatre personnes ont été victimes de l'accident.

La rupture de la *digue du Plessis*, au même canal, le 5 décembre 1825, a été causée par l'obstruction des déversoirs au moment de pluies abondantes. La digue fut surmontée par les eaux et emportée.

La rupture de la *digue de l'étang Berthaud*, toujours au canal du Centre, le 14 avril 1829, eut des causes plus complexes. Le plan d'eau dans le réservoir avait été surélevé de

Digitized by Google

0 m. 50 au-dessus de la retenue normale et ne laissait plus que 0 m. 50 de revanche à la digue, lorsqu'un vent violent s'éleva et dura plusieurs jours, produisant des vagues d'une grande hauteur qui endommagèrent progressivement le couronnement et le talus extérieur de la digue. Quand on se décida à abaisser le plan d'eau, il était trop tard ; on ne put empêcher la digue d'être coupée et emportée.

La rupture de la *digue de la Tabia*, en 1856, en Algérie, doit être attribuée à la fois à des infiltrations et à une crue rapide du cours d'eau barré.

La rupture de la *digue de Bradfield*, en Angleterre, survenue le 12 mars 1864, a pris les proportions d'un véritable désastre. Nous avons fait connaître le mode de construction des digues de réservoir généralement employé en Angleterre et les précautions que les ingénieurs de ce pays considèrent comme indispensables dans l'application. Ces précautions n'avaient malheureusement pas été prises au réservoir de Bradfield destiné à l'alimentation de la ville de Sheffield, et ce réservoir n'était même pas encore entièrement rempli pour la première fois, que la digue se rompit. Un quart de son volume fut emporté.

Longue de 382 mètres environ, cette digue mesurait 3 m. 66 seulement de largeur au sommet. Elle comportait un noyau central d'argile corroyée de 27 m. 45 de hauteur au-dessus du fond de la vallée et pénétrant, sur certains points, dans le sol, jusqu'à plus de 18 mètres de profondeur. Ce diaphragme, épais de 5 m. 50 environ à la base et de 1 m. 22 au sommet, était loin de satisfaire à la condition énoncée plus haut, au sujet de l'épaisseur des corrois (page 412).

Contrairement aux règles généralement admises, le corroi n'était pas compris entre deux massifs de matériaux fins, il était épaulé directement, à l'amont et à l'aval, par des remblais formés de matériaux tout venants empruntés aux deux versants de la vallée, dont les talus extérieurs étaient réglés à 2 1/2 de base pour 1 de hauteur. On n'avait même pas eu le

Digitized by Google

soin de pilonner ces remblais qui avaient été déchargés au wagon et qui étaient loin d'être imperméables, surtout à leur partie supérieure.

Enfin, la prise d'eau s'effectuait au moyen de deux tuyaux en fonte, traversant la digue à son point le plus bas sur 150 mètres de longueur. Ces tuyaux étaient environnés d'argile sur 0 m. 50 d'épaisseur et subissaient nécessairement les tassements qui pouvaient affecter la masse.

Il y avait là tout un ensemble de dispositions vicieuses dont un ingénieur anglais, Rawlinson, apprécie comme il suit la funeste influence. « La manière peu irréprochable dont les « tuyaux traversaient le corroi est la cause probable de la rup- « ture. L'état de porosité des matériaux du sommet de la digue « a donné libre passage aux eaux. Quand l'eau s'est élevée « dans le réservoir, elle a atteint le niveau de ce crible, elle a « cherché une route dans le corroi et l'a trouvée autour des « tuyaux. De là cette destruction si rapide et si terrible dans « ses effets..... Dans tous les cas, on ne doit faire passer ni « aqueducs, ni tuyaux sous les digues, ni dans aucune partie « du remblai ».

Ainsi qu'il a été dit plus haut, c'est le 12 mars 1864, alors qu'il s'en fallait encore de 1 m. 50 environ que le réservoir fût plein, qu'une fissure se manifesta dans la partie supérieure de la digue. En dépit d'efforts tardifs et avant qu'on eût donné les avis utiles, la fissure devint rapidement une brèche et la digue fut emportée sur près d'un quart de son volume (70.000 mètres cubes environ). En moins d'une demi-heure, les 3.100.000 mètres cubes d'eau que contenait le réservoir s'écoulèrent et vinrent envahir la ville de Sheffield, inopinément, au milieu de la nuit. Le bilan du désastre s'établit par les chiffres suivants : 798 maisons détruites en totalité ou en partie et 4.354 inondées ; 238 victimes.

Mentionnons encore la rupture de la *digue du réservoir de South-Fork*, près de Johnstown, en Amérique, survenue en 1889, bien que cet ouvrage puisse être plutôt classé parmi les

Digitized by Google

digues de systèmes mixtes. Il y a eu là une catastrophe qui laisse les précédentes bien loin derrière elle puisqu'on n'estime pas à moins de 10.000 le nombre des victimes, soit de l'inondation, soit d'un incendie qui, par une terrible coïncidence, est venu achever le désastre.

Au cours des années 1879 à 1881, la hauteur de la retenue qui, primitivement, n'était que de 62 pieds (18 m. 91) fut élevée à 69 pieds (21 m. 05) et la capacité du réservoir portée ainsi à près de 45 millions de mètres cubes. On peut dire que la digue avait été construite dans le système anglais, avec cette différence que le corroi argileux, formant clef, avait été remplacé par un mur en maçonnerie.

A l'aval, ce mur était soutenu par un remblai en terre et pierres, incliné seulement à 45°, tandis qu'à l'amont, le remblai, constitué par des matériaux plus fins et moins perméables, était incliné à 2 de base pour 1 de hauteur et recouvert par un perré composé de pierres d'assez grosses dimensions.

Des pluies torrentielles s'étant abattues sur la région au mois de mai 1889, le réservoir s'emplit avec une rapidité inaccoutumée. Le débit du déversoir était tout à fait insuffisant pour arrêter le mouvement ascensionnel de l'eau, et, par défaut d'entretien, la bonde de fond n'était plus manœuvrable. Le 31 mai, vers quatre heures du soir, en dépit d'une tentative faite tardivement pour ouvrir une rigole de décharge sur le flanc de la vallée, la digue fut surmontée et une coupure se produisit. Il semble que cette coupure se soit d'abord très rapidement approfondie sans s'élargir notablement, puis, brusquement, la digue céda sur toute sa hauteur et sur 90 mètres de largeur. Par cette immense baie, un volume énorme d'eau s'échappa formant une vague de 12 mètres de hauteur qui parcourut en 17 minutes la distance du barrage à Johnstown, soit 19 kilomètres. La vitesse de cette vague atteignait donc 70 kilomètres à l'heure ; on peut juger des effets produits.

180. Conclusions. — Une première conclusion s'impose,

Digitized by Google

c'est qu'on doit considérer une digue en terre surmontée par l'eau comme une digue perdue et qu'il faut, à tout prix, éviter que le fait puisse se produire. Il convient, à cet effet, de donner à la digue une revanche notable par rapport au niveau de la retenue normale ; il est, en outre, indispensable de se ménager des moyens d'évacuation suffisants pour que, même en cas de crue extraordinaire, l'eau ne puisse dépasser un certain niveau maximum assigné à la retenue. C'est faute de moyens d'évacuation suffisants que les digues des réservoirs du Plessis, de la Tabia et de South-Fork ont péri.

Il n'est pas sans intérêt de rappeler aussi les précautions qu'il y a lieu de prendre contre les vagues, dont l'action destructive est d'autant plus à redouter que le réservoir est plus vaste et plus profond et exposé à des vents plus violents. Ces précautions consistent essentiellement : 1° à protéger le talus en contact avec l'eau par un revêtement solidement maçonné pour lequel la disposition en gradins est aujourd'hui généralement adoptée ; 2° à donner au couronnement de la digue une revanche suffisante par rapport à la retenue normale ; 3° à établir sur ce couronnement un robuste parapet en maçonnerie.

Une seconde conclusion également évidente, c'est la nécessité de l'étanchéité complète de la digue. Il est essentiel qu'il n'y ait aucune fissure soit dans le corps même de la digue, soit à son contact avec le terrain naturel.

A ce point de vue, l'établissement des ouvrages de prise d'eau au travers de la masse du remblai doit toujours être considéré comme un danger ; on ne saurait trop recommander les dispositions qui permettent de rendre ces ouvrages tout à fait indépendants de la digue. L'oubli de cette règle de prudence paraît bien avoir été la principale cause de la rupture de la digue de Bradfield.

Au même point de vue de l'étanchéité, l'homogénéité de la masse et les soins minutieux apportés à la mise en œuvre des terres ont assurément une importance capitale. Sous ce double rapport, il est certain que le mode de construction des digues

Digitized by Google

hindoues est la perfection même[1] ; il est tout aussi évident que ce mode de construction est absolument incompatible avec l'état actuel de nos mœurs et de notre civilisation. Mais il convient de constater que la méthode française s'en rapproche autant qu'il est possible, eu égard à cet état. Le principe de l'homogénéité est également absolu et de puissants moyens mécaniques suppléent, dans la mesure du possible, à l'action si efficace du temps et des foules humaines. Nous avons vu quel soin il convient d'apporter au choix des terres à mettre en œuvre si on veut éviter des glissements et de coûteuses réparations ultérieures ; nous avons constaté qu'avec un mélange convenable d'argile et de sable, additionné, au besoin, d'un peu de chaux, on pouvait obtenir d'excellents résultats, et cela sans donner au couronnement des digues les épaisseurs formidables que l'on relève dans les ouvrages de l'Inde.

En terminant, nous croyons utile de faire connaître, pour un certain nombre de réservoirs avec digue en terre, la dépense totale de premier établissement et *le prix de revient du mètre cube de capacité.* Les ouvrages repris au tableau ci-après se trouvent tous en France ; les époques auxquelles ils ont été construits sont comprises dans une période dont la durée totale est inférieure à trente ans ; les chiffres qui s'y

1. Voici comment s'exprime à ce sujet, M. Rawlinson, l'ingénieur anglais déjà cité :

« Le procédé indien, qui consiste à n'employer ni tranchée ni corroi, mé-
« rite une étude attentive et une sérieuse considération. Des couches souter-
« raines peuvent porter une charge d'eau considérable avec sécurité, si l'on
« n'a pas troublé leur stratification. Mais si on a brisé les assises par une
« tranchée profonde et ouvert des fissures par des épuisements considérables
« qui ont balayé les fentes du sol, on s'est peut-être placé dans des conditions
« telles qu'il est impossible de reconstituer un terrain solide et on s'expose à
« des réparations fort coûteuses.

« Un remblai construit sans corroi ni tranchées d'argile, mais simplement
« formé de couches minces de bons matériaux, comme le font les Indiens,
« édifié lentement et terminé par une plate-forme qui présente une largeur
« au moins égale à la demi-hauteur de la digue, ne peut pas être facilement
« emporté par les eaux ».

Digitized by Google

rapportent peuvent donc être considérés comme suffisamment comparables.

DÉSIGNATION des réservoirs	EPOQUE de construction	CAPACITÉ	DÉPENSE DE PREMIER ÉTABLIS.	
			totale	par mc.
		mc.	francs	francs
Réservoir de Montaubry.	1859-61	5.030.000	610.000	0 12
— du Plessis . .	1868-70	1.320.000	356.000	0 27
— de la Liez . .	1880-86	16.100.000	2.992.000	0 19
— de Vassy. . .	1881-82	2.146.000	695.000	0 32
— de Torcy-Neuf.	1883-87	8.767.000	2.233.000	0 25
Totaux et moyenne .	»	33.363.000	6.886.000	0 21

Pour les cinq réservoirs ci-dessus désignés, d'une capacité totale de 33.363.000 mètres cubes, le prix du mètre cube de capacité varie de 0 fr. 12 à 0 fr. 32 et est, en moyenne, de 0 fr. 21. Est-il nécessaire d'ajouter que ce prix n'a aucun rapport avec celui du mètre cube d'eau fourni à l'alimentation ? Pour obtenir ce dernier, il faudrait, par comparaison avec ce que nous avons fait plus haut pour l'eau élevée mécaniquement ou amenée par rigoles, diviser le montant annuel moyen des dépenses d'entretien et d'exploitation de chaque réservoir par le volume d'eau moyen annuellement emprunté ; or ce volume peut différer du tout au tout de la capacité du réservoir.

Digitized by Google

§ 3

RÉSERVOIRS DE SYSTÈMES MIXTES

181. Diversité des ouvrages rentrant dans cette catégorie. — Cette catégorie comprend les réservoirs formés par une digue dont le massif n'est pas entièrement en terre, comme celles que nous venons de passer en revue, ou entièrement en maçonnerie, comme celles dont nous nous occuperons un peu plus loin. Elle renferme des ouvrages nombreux, qui ne diffèrent pas seulement par leur système de construction mais aussi, souvent, par leur objet et leur mode de fonctionnement.

Certains d'entre eux sont construits en matériaux que l'on ne saurait employer, dans notre pays du moins, avec avantage ; ou encore, très bien appropriés aux conditions locales, ils ne présentent pas des garanties de durée et de sécurité suffisantes pour des contrées où leur rupture serait susceptible de causer de grands désastres. Il s'agit ici des ouvrages dans la construction desquels les matériaux ligneux entrent pour la plus grande part. En donner une description, même sommaire, présenterait peu d'utilité ; nous nous contenterons de mentionner les plus intéressants, à notre connaissance.

Citons d'abord les réservoirs établis en Russie sur la haute Volga (réservoir Verkhnévoljsky) et sur la Tsna, sous-affluent de ce fleuve (réservoirs Zavodsky)[1], en vue d'emmagasiner des eaux destinées à soutenir le débit de la Volga à l'étiage. Le bois entre pour une très forte part dans la construction des barrages qui en forment la partie essentielle. La hauteur de rete-

1. Ve *Congrès international de navigation intérieure* ; mémoire de M. E. de Hœrschelmann.

Digitized by Google

nue de ces derniers est faible (de 5 à 6 mètres au-dessus de l'étiage, au plus), néanmoins le volume d'eau que le réservoir de la haute Volga, à lui seul, peut fournir annuellement, ne descend pas au-dessous de 400 millions de mètres cubes, ce qui permet de donner au fleuve un débit supplémentaire de 60 mètres cubes par seconde pendant 80 à 90 jours.

Citons encore le barrage construit également par les Russes sur une rivière de l'Asie centrale, le Mourgab [1], par des procédés analogues à ceux appliqués jadis par M. Defontaine pour la fermeture de certains bras du Rhin : emplois de matières ligneuses en fascines, en tapis, en paniers lestés avec des briques, etc.

Mentionnons enfin les barrages établis en Californie [2] pour emmagasiner les eaux nécessaires au traitement des sables aurifères, et pour la construction desquels on a employé dans une large mesure les bois fournis en abondance par les forêts du voisinage.

Il est, au contraire, d'autres ouvrages à propos desquels nous entrerons dans quelques détails, ce sont ceux où on a combiné l'emploi des remblais avec celui des maçonneries.

182. Réservoir de Saint-Ferréol. — Parmi les ouvrages de cette espèce, le plus célèbre est le réservoir de Saint-Ferréol, construit il y a plus de deux siècles (1667-1671) pour l'alimentation du canal du Midi (pl. LXXXVIII, page 427). La digue, qui supporte une retenue d'eau de 31 m. 33 au-dessus du seuil de la vanne de fond, se compose d'un énorme remblai, de 140 mètres environ de largeur à la base, soutenu à ses deux extrémités par des murs hauts de 10 à 20 mètres et divisé en deux massifs distincts par un mur médian qui s'élève sur toute la hauteur de la digue.

La crête du massif d'amont est réglée à 10 mètres au-dessous du niveau de la retenue, tandis que le massif d'aval

1. Voir le *Génie civil*, tome XXVII, n° 7, page 107.
2. Voir le *Génie civil*, tome XXVII, n° 7, page 106.

Digitized by Google

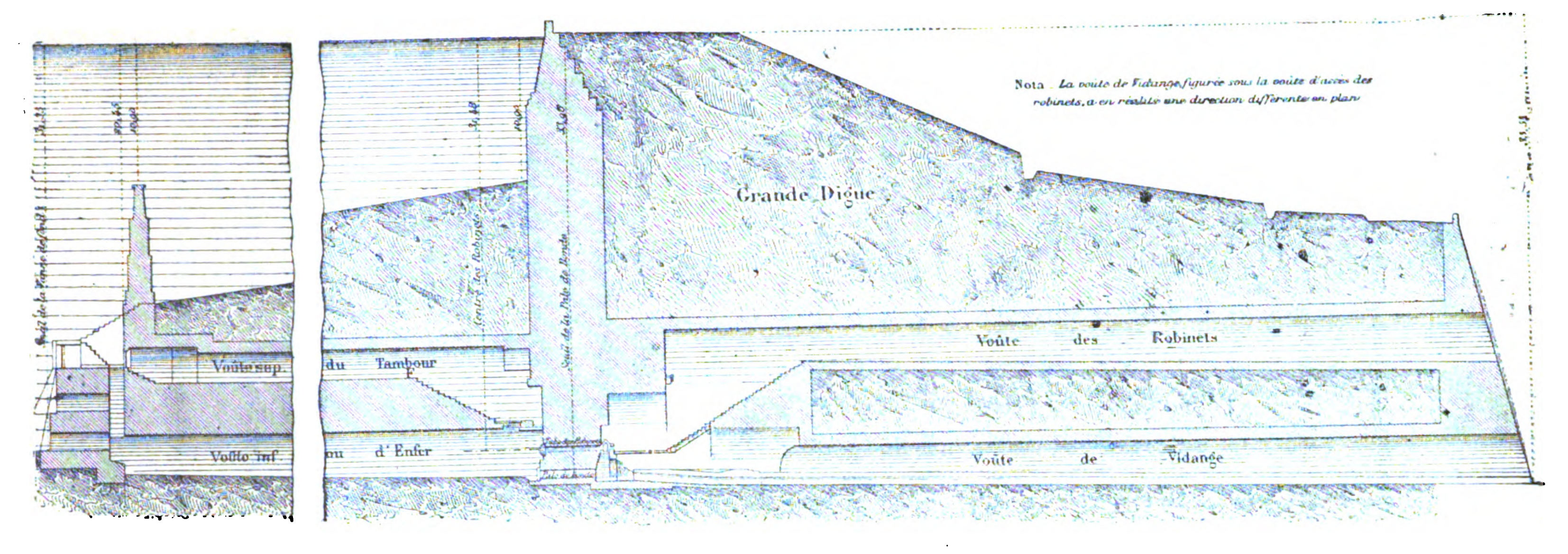
monte à ce niveau même. La différence se rachète le long du mur médian qui forme diaphragme et mesure 6 mètres d'épaisseur sur presque toute sa hauteur. On peut croire que, dans la pensée des constructeurs, cette maçonnerie devait donner à la digue l'étanchéité nécessaire tandis que les remblais lui fourniraient la résistance au renversement. Malheureusement, il est douteux que les rôles se répartissent exactement de cette manière ; le mur médian supporte vraisemblablement sa part de la poussée qu'exerce l'eau sur tout le système, et le défaut d'homogénéité de la masse ne permet pas d'apprécier si chaque partie de la construction demeure dans la mesure des efforts auxquels elle doit résister. M. Minard dit que les murs de Saint-Ferréol ont, en effet, un peu obéi à la poussée, mais il est probable que ce mouvement a rétabli l'équilibre, car ce remarquable ouvrage n'a pas cessé de fonctionner depuis l'époque lointaine où il a été construit.

L'émission des eaux s'effectue au moyen de trois gros robinets placés à l'extrémité de trois tuyaux qui traversent le mur médian et débouchent dans deux galeries, l'une d'arrivée, vers l'amont, l'autre de départ, vers l'aval, construites sous les talus de la digue.

Pour faciliter la visite des tuyaux et la vidange du réservoir, il y a, du côté d'amont, deux galeries placées l'une au-dessus de l'autre. Elles sont mises en communication, près du mur médian, et un escalier permet de descendre de la galerie supérieure jusqu'au niveau du sommet de la galerie inférieure qui sert à l'écoulement de l'eau. On parvient ainsi à un plancher établi au point de communication, et c'est de ce plancher qu'on lève la bonde de fond située au-dessous des tuyaux de prise d'eau. Cette manœuvre ne peut donc s'effectuer que quand le réservoir est presque vide.

Du côté d'aval, il y a également deux galeries, mais elles ont en plan des directions différentes. La galerie supérieure donne accès aux robinets, la galerie inférieure sert à la décharge des eaux. La première débouche sur le talus de la

Digitized by Google



Pl. LXXXVIII. DIGUE DU RÉSERVOIR DE SAINT-FERRÉOL

Digitized by Google

vallée, la seconde aboutit au point le plus bas, c'est-à-dire au cours d'eau.

Les robinets employés sont des robinets à boisseau et à clé conique, manœuvrés au moyen d'engrenages. Les clés sont maintenues dans les boisseaux par plusieurs vis de pression ; on n'a pas à craindre qu'elles soient enlevées par l'effet d'une manœuvre imprudente ou par la sous-pression qui s'exerce pendant l'écoulement. Ces robinets débitent, par 24 heures, 64.000 mètres cubes d'eau sous une pression de 25 mètres. La tranche supérieure de 6 mètres, la plus fréquemment utilisée, est écoulée par deux aqueducs supérieurs, indépendants du dispositif précédemment décrit.

183. Réservoir du Couzon. — Ce réservoir a été établi, de 1789 à 1812, pour l'alimentation du canal de Givors, en barrant le ruisseau du Couzon. Le barrage, qui ferme la vallée et qui assure une retenue de 31 mètres de hauteur, a été construit suivant les mêmes principes que celui de Saint-Ferréol. Il se compose, de même, d'un massif de terre enfermé entre deux murs de soutènement et partagé en deux parties par un mur central. Les remblais d'amont ont 47 mètres d'épaisseur et sont soutenus par un mur de 10 mètres de hauteur sur 4 mètres d'épaisseur moyenne ; ceux d'aval ont 53 mètres d'épaisseur et sont retenus par un mur de 18 m. 50 de hauteur sur 5 mètres d'épaisseur moyenne. Le mur central a 6 m. 80 d'épaisseur à la base et 3 m. 20 au sommet ; l'épaisseur totale du massif à la base est de 117 m. 77.

Les ouvrages accessoires présentent la plus grande analogie avec ceux du réservoir de Saint-Ferréol.

184. Réservoir de Daming — La digue de ce réservoir construit de 1887 à 1889, aux Etats-Unis, pour l'alimentation de la ville de Scrouton [1], comprend deux parties établies

1. Voir le *Génie civil*, tome XXVII, n° 8, page 124.

Digitized by Google

suivant des systèmes complètement différents. Une moitié, ayant pu être fondée sur le rocher, est entièrement en maçonnerie ; l'autre moitié, celle qui nous intéresse, établie sur un sol argilo-sableux, a été constituée par une énorme digue en terre avec, au milieu, un mur en maçonnerie. Ce mode de construction se rapproche de celui qui a été appliqué à Saint-Férréol et au Couzon. C'est exactement le système suivant lequel avait été établie la digue du réservoir de South-Fork de sinistre mémoire. A Duming, la hauteur de retenue est de 50 pieds (15 m. 25) ; le mur formant diaphragme, enraciné dans le sol naturel, est épais de 12 pieds (3 m. 66) à la base et de 4 pieds (1 m. 22) au sommet.

185. Réservoirs du Gasco sur la Guadarrama. — Conçu dans un ordre d'idées absolument différent, le barrage qui devait soutenir les eaux de ce réservoir [1] a été détruit avant d'être achevé ; il mérite cependant une mention, ne fût-ce qu'à raison de la hauteur extraordinaire (93 mètres) à laquelle on prétendait le monter. Deux murs en maçonnerie, d'une épaisseur uniforme de 2 m. 80, formaient les parements ; ils étaient reliés par des murs de refend avec lesquels ils constituaient des compartiments. Ceux-ci étaient remplis avec des pierres noyées dans l'argile (une sorte de béton d'argile). On avait déjà, paraît-il, atteint une hauteur de 57 m. 12 quand, le 14 mai 1789, une partie du mur extérieur fut renversée. L'ouvrage n'a pas été repris depuis cet accident qui fut attribué au gonflement de l'argile à la suite de pluies.

186. Réservoir de Kabra. — La digue du réservoir de Kabra est un spécimen d'un type assez répandu, paraît-il, aux Indes anglaises et qui peut être défini en peu de mots comme il suit : *un mur maçonné ayant une section plus ou moins analo-*

1. Il est mentionné dans le rapport de M. de Llaurado, au *Ve Congrès international de navigation intérieure.*

Digitized by Google

gue à celle d'un mur de quai et appuyé à l'extérieur contre un fort massif de terre [1]. La figure 53 en donne une coupe transversale. Pas plus que les précédents ce système n'échappe à

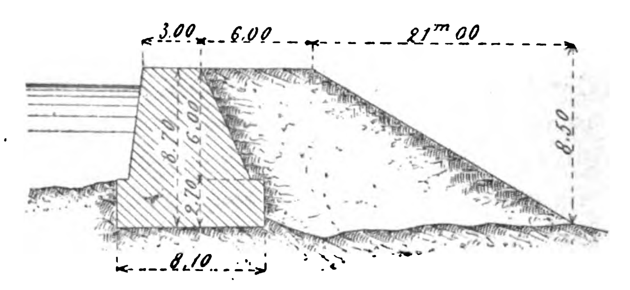


Fig. 53.

la critique. Si la maçonnerie est là uniquement pour assurer l'étanchéité, son épaisseur est évidemment excessive ; si elle doit concourir à la stabilité, il est impossible de déterminer la mesure dans laquelle le mur et le remblai y contribuent respectivement. Quant à la dépense indiquée, de 14.500 francs seulement, elle ne peut résulter que d'une erreur de chiffres.

187. Réservoir du lac d'Orédon. — Au contraire, nous considérons comme tout à fait rationnel et satisfaisant le mode de construction de la digue au moyen de laquelle le lac d'Orédon, dans les Pyrénées, a été transformé en réservoir [2] (fig. 54).

Le lac d'Orédon verse ses eaux dans la vallée de la Neste qui les conduit à la Garonne. Il est situé près de la ligne de partage des eaux de la Neste et du Gave de Pau, à une altitude de 1852 mètres. Au moyen d'une digue qui a permis de surélever le plan d'eau naturel de 17 mètres, on a augmenté considérablement sa superficie et sa capacité. D'autre part, on a creusé,

1. Mémoire de M. Barois au *Ve Congrès international de navigation intérieure.*

2. Mémoire de M. l'inspecteur général Bouvier au *Ve Congrès international de navigation intérieure.*

Digitized by Google

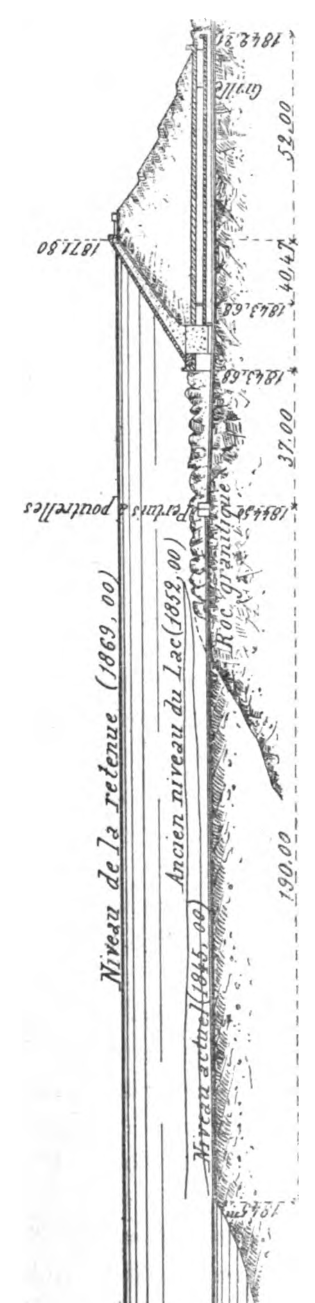


Fig. 54.

dans le banc de rocher formant déversoir naturel du lac, une tranchée destinée à recevoir une galerie contenant les appareils de vidange et permettant de prendre les eaux à 7 mètres en contre-bas du niveau naturel, de sorte que la hauteur de la couche utilisable a été portée à 24 mètres et son volume à 7.270.000 mètres cubes [1].

Le barrage destiné à créer la retenue artificielle a été construit au moyen de déblais graveleux qui se trouvaient à proximité mais avec lesquels il était impossible de songer à obtenir un remblai imperméable. C'est un revêtement en maçonnerie, établi sur le talus du côté de l'eau, qui réalise seul l'étanchéité du système; le corps de la digue ne fait que le soutenir. Au fur et à mesure de sa mise en place, le remblai était lavé à grande eau de manière à le purger de toute matière terreuse et à ne laisser que les sables, graviers et cailloux qui, en se mélangeant intimement, formaient une masse incompressible.

1. Les 7 mètres inférieurs de la couche utilisable sont, en réalité, utilisés par voie de soutirage des eaux du lac naturel. Des opérations de ce genre ont pu, dans certains cas se faire très économiquement par l'ouverture d'un simple tunnel. M. Guillemain, dans son *Cours de navigation interieure*, tome II, page 372, en donne comme exemple la vidange du lac Bleu, dans les Pyrénées.

Digitized by Google

Le revêtement en maçonnerie dont nous avons parlé plus haut comporte d'abord, en partant du remblai en gravier qui constitue le corps de la digue (fig. 55) ; un perré à pierres

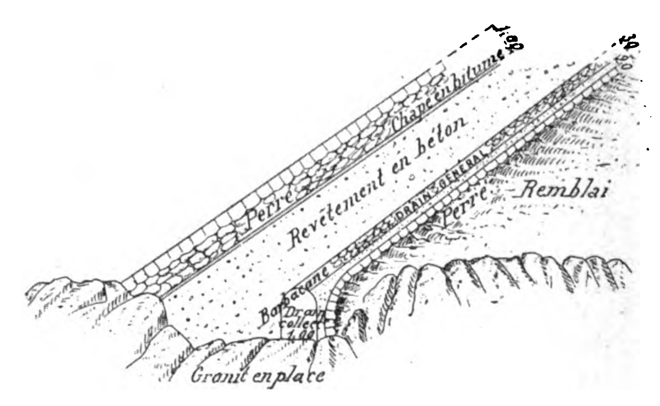


Fig. 55.

sèches, incliné à 1,5 de base pour 1 de hauteur ; une couche de béton de 0 m. 20 d'épaisseur ; un deuxième perré à pierres sèches, de 0 m. 30 d'épaisseur, destiné à recueillir les infiltrations et formant un drain général dont la couche de béton sous-jacente est le radier. Par le bas, ce perré repose sur le cerveau d'une galerie transversale de 1 mètre de largeur et de 1 m. 50 de hauteur, établie au pied et en amont du premier perré. Il communique, au moyen de barbacanes avec ladite galerie qui sert de colateur et conduit les eaux d'infiltration dans l'aqueduc de vidange.

Au-dessus de ce deuxième perré, on trouve successivement : une forte couche de béton dont l'épaisseur, de 1 m. 60 à la base, se réduit à 1 m. 20 au sommet ; une chape de bitume de 0 m. 02 d'épaisseur et un troisième perré à pierres sèches, de 1 mètre d'épaisseur, servant de protection contre le choc des lames et des glaçons, etc..

Ces dispositions, destinées à empêcher les filtrations de pénétrer dans le corps du remblai, ont été couronnées de succès, bien que la chape en bitume ne paraisse pas avoir donné

Digitized by Google

les résultats espérés. Sur les points où elle a été mise à découvert pour des réparations, elle a révélé, par des boursouflures, un défaut d'adhérence avec la couche de béton qu'elle recouvre.

Nous avons dû nécessairement abréger beaucoup cette description et passer complètement sous silence bien des points intéressants, mais nous ne pouvons nous empêcher d'insister encore sur le caractère rationnel et satisfaisant de la combinaison, dans l'espèce, des remblais et des maçonneries.

On dispose en abondance de matériaux perméables mais propres à faire un remblai très solide ; on en forme une masse inébranlable et, pour bien accentuer l'esprit de la méthode, un lavage énergique, au fur et à mesure de la mise en place, expulse toutes les particules terreuses dont la présence aurait pu, peut-être, rendre le remblai moins perméable, mais aurait pu aussi lui faire perdre son incompressibilité absolue. La stabilité de la masse étant ainsi assurée, son talus amont est pourvu d'un revêtement en maçonnerie qui, grâce à des dimensions et à des dispositions prises uniquement en vue de ce résultat, réalise une étanchéité suffisante et permet toutes constatations utiles.

Chaque partie du système a donc un rôle exclusif, bien déterminé, qu'il remplit exactement, et il est à remarquer qu'une altération du revêtement, dont on serait d'ailleurs toujours averti en temps utile, ne compromettrait en rien la stabilité de l'ouvrage.

188. Emploi du métal. — Dans certains cas, restés jusqu'ici à l'état d'exception, on a eu recours aussi au métal pour la construction de digues de réservoirs ; en voici deux exemples.

Les *Annales des ponts et chaussées* (1877, 1er trimestre, page 215) donnent quelques détails sur l'emploi du métal dans l'aménagement des réservoirs du rio Rimac, au Pérou, entreprise qui, par certains côtés, présente de l'analogie avec les travaux effectués au lac d'Orédon.

Digitized by Google

Dans la vallée supérieure du rio Rimac, dans la Cordillière de Huarachiri, se trouvent des lagunes situées à des altitudes comprises entre 4.287 et 4.867 mètres au-dessus du niveau de la mer. Ces lagunes ont été aménagées en vue de prévenir les dégâts causés pendant la saison des pluies et de fournir l'eau nécessaire aux irrigations en même temps qu'à l'alimentation des villes de Lima et du Callao.

La région où se trouvent les lagunes est peu propice à l'établissement de maçonneries, tant à cause des intempéries et des tremblements de terre qui y sont fréquents, qu'à raison des difficultés que présente l'organisation de grands chantiers en des points très éloignés de tout centre de population. Aussi a-t-on conservé le niveau primitif des lagunes et s'est-on contenté de pratiquer, dans les seuils naturels qui retiennent les eaux, des tranchées qui ont été ensuite fermées à l'aide d'écrans métalliques appuyés sur des piles ou des culées en maçonnerie qu'on encastrait dans le rocher.

Les voies d'accès ne permettant pas le transport de pièces d'un poids supérieur à 150 kilogrammes, ces écrans métalliques n'ont que 3 mètres de large et sont constitués par des plaques de tôle fixées sur des poutres horizontales. Les poutres, distantes de 0 m. 38 d'axe en axe, sont de deux types, suivant la charge d'eau qu'elles ont à supporter : les unes sont formées par un fer à I de $\frac{220 \times 110}{10}$ et pèsent 113 kilogrammes ; les autres sont formées de deux fers en ⊔ accolés, de $\frac{300 \times 75}{12}$, pesant chacun 106 kilogrammes. Les plaques posées sur ces poutres mesurent 3 mètres de longueur, 0 m. 38 de hauteur, 0 m. 0175 d'épaisseur et pèsent 133 kilogrammes ; leurs joints sont recouverts d'une bande de feutre sur laquelle est placée une lame de fer formant couvre-joint de 0 m. 12 de largeur. Toutes ces pièces sont réunies par des boulons.

A la partie inférieure des écrans métalliques se trouvent des vannes manœuvrées du haut du barrage.

Digitized by Google

Les lagunes ainsi aménagées sont au nombre de 9 ; la plus grande largeur des tranchées ouvertes dans les seuils naturels atteint 31 mètres ; la hauteur des barrages varie de 4 m. 20 à 16 m. 50 ; le total des volumes d'eau utilisables s'élève à 46.380.000 mètres cubes.

Le *Génie civil* (tome XXXIII, n° 25, page 408) donne la description d'un barrage en acier établi aux États-Unis, dans l'Arizona, à Ash-Fork, pour la création d'un réservoir destiné à fournir de l'eau à la ville de ce nom ainsi qu'à diverses compagnies de chemins de fer.

La longueur du barrage métallique est de 56 mètres à la crête. Il pénètre à ses deux extrémités dans des culées en béton qui portent à 91 m. 20 la longueur totale de l'ouvrage. La hauteur maximum est de 14 mètres. La partie métallique consiste essentiellement en une série de 24 fermes triangulaires en acier dont le montant d'aval est vertical et le montant d'amont (du côté de la retenue) est incliné à 45°. Ces fermes reposent sur des fondations en béton et sont contreventées par quatre séries d'entretoises disposées en croix de Saint-André ; entre deux fermes consécutives s'étend un rideau formé de tôles d'acier de 0 m. 009 d'épaisseur, cintrées transversalement, rivées de chaque bord sur les fermes.

A l'emplacement du barrage on trouve partout un rocher d'origine ignée extrêmement dur, bien que présentant fréquemment des lézardes et des poches à cendres. Comptant sur la résistance du sol, on a construit le barrage de façon qu'il puisse servir de déversoir, et on a prévu que la lame déversante pourrait atteindre jusqu'à 1 m. 824 d'épaisseur. En conséquence, le réservoir n'est muni d'aucun ouvrage régulateur ou de décharge ; la prise d'eau est constituée par une conduite en fonte de 0 m. 150 de diamètre, noyée dans le béton et placée au fond d'une tranchée creusée dans le roc de fondation.

Dans une construction de ce genre les dilatations et les contractions du métal sous l'influence des variations de température doivent nécessairement constituer une sérieuse diffi-

Digitized by Google

culté. Comment l'a-t-on résolue à Ash-Fork? L'article du *Génie civil* ne le fait pas connaître, non plus que le prix de revient de l'ouvrage.

Pour être complet, en ce qui concerne l'emploi du métal, nous dirons, en terminant, que l'application du béton armé à la construction intégrale de barrages de reservoirs a été proposée, mais n'a pas encore été, à notre connaissance, réalisée.

§ 4.

RÉSERVOIRS AVEC DIGUE EN MAÇONNERIE

189. Considérations générales. — Les digues en maçonnerie ou, pour employer le terme qui est de beaucoup le plus usité, les *barrages* en maçonnerie ont permis de créer des retenues d'une hauteur très supérieure à celles obtenues avec les digues en terre et, par conséquent, d'aborder des problèmes dont la solution n'aurait pu être réalisée sans leur emploi. On peut, en effet, se rendre compte, par le calcul, des efforts auxquels sont soumises, suivant les circonstances, les différentes parties d'un barrage en maçonnerie, tandis que pour déterminer les dimensions d'une digue en terre, il faut se contenter de la comparaison avec les ouvrages existants, ou de règles empiriques plus ou moins dignes de confiance. D'autre part, des catastrophes retentissantes ont, malheureusement, donné une importance exceptionnelle à toutes les questions qui se rattachent à la stabilité des barrages en maçonnerie. L'étude de ces ouvrages se présente donc comme particulièrement intéressante et délicate.

Plus encore peut-être que pour les digues en terre, ce qui concerne les ouvrages accessoires, prises d'eau, bondes de fond etc... ne doit venir qu'au second plan ; la question de la solidité et de la durée des barrages en maçonnerie, par conséquent de la sécurité qu'ils peuvent inspirer, prime toutes les autres ; l'étude des dimensions données ou à donner au corps

Digitized by Google

même de ces ouvrages doit donc être abordée tout d'abord et prendra nécessairement une place prépondérante. Il convient d'ailleurs de préciser ici l'esprit dans lequel cette étude sera faite.

La détermination rationnelle du profil transversal des barrages en maçonnerie est du domaine de la mécanique appliquée et ressortit à un autre cours. L'exposition et la justification des méthodes employées jureraient d'ailleurs avec le caractère descriptif de celui-ci. L'étude que nous présentons au lecteur est donc faite principalement au point de vue pratique et statistique et, dans cet ordre d'idées, une revue, autant que possible chronologique, d'un assez grand nombre de barrages en maçonnerie établis en divers pays, ne saurait manquer d'être fort intéressante. C'est par là que nous commencerons.

190. Anciens barrages espagnols. — C'est en Espagne qu'ont été établis les premiers barrages en maçonnerie pour créer des réservoirs destinés au service des irrigations [1]. Ces ouvrages sont situés sur des cours d'eau torrentiels, dont le régime a nécessité l'adoption de certaines dispositions accessoires spéciales sur lesquelles nous reviendrons plus loin, mais dont le lit très resserré, ouvert à travers des masses rocheuses compactes, offrait des emplacements éminemment favorables à la construction de barrages en maçonnerie. Quelques-uns comptent aujourd'hui plus de trois siècles d'existence.

C'est le cas du barrage d'Almanza dont on ne connaît pas

1. On trouvera, sur ces ouvrages, des détails complémentaires très intéressants dans le rapport présenté par M. de Llaurado au V[e] Congrès international de navigation intérieure (Paris, 1892) sous le titre: *Réservoirs établis en Espagne*. Les cotes inscrites sur les dessins joints à notre texte et reproduites dans ce texte ne sont pas toujours en concordance complète avec les dimensions indiquées par M. de Llaurado. Il convenait d'en prévenir le lecteur, tout en ajoutant qu'il n'y a pas lieu d'attacher à ce fait plus d'importance qu'il n'en mérite.

Digitized by Google

exactement la date de construction, mais qui fonctionnait déjà depuis un certain temps, en 1586 (fig. 56). Ce barrage est revêtu en grosses pierres de taille ; sa plus grande hauteur est de 20 m. 69; sa largeur, de 10 m. 28 à la base, se réduit à 2 m. 90 au sommet.

Le barrage d'Alicante ou de Tibi (pl. LXXXIX) qui, jusqu'à la construction du barrage du Furens (près de Saint-Etienne), détenait le record de la hauteur, a été construit de 1579 à 1584 sur le rio Monègre pour l'arrosage de la *huerta* d'Alicante. Sa plus grande hauteur est de 41 mètres ; sa largeur, de 37 m. 70 à la base, est encore de 20 mètres au sommet. Son profil est donc extrêmement massif.

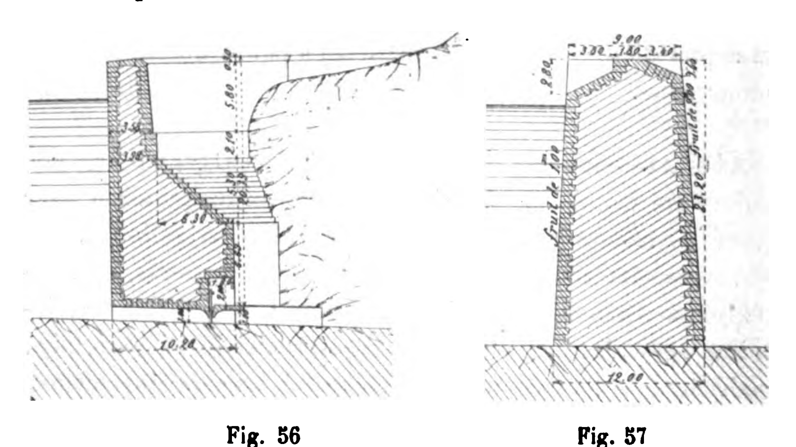


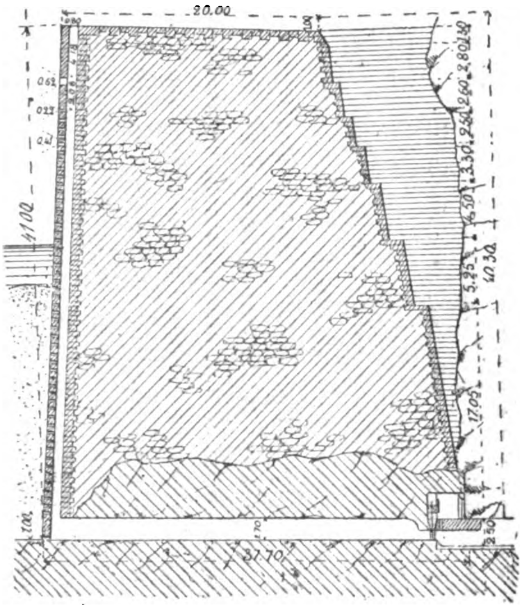
Fig. 56 Fig. 57

Beaucoup plus réduite est l'épaisseur du barrage d'Elche (fig. 57) établi vers la fin du XVIe siècle sur le rio Vinalopo. Sa hauteur totale n'est, il est vrai, que de 23 m. 20, mais sa largeur ne dépasse pas 12 mètres à la base et 9 mètres vers le sommet.

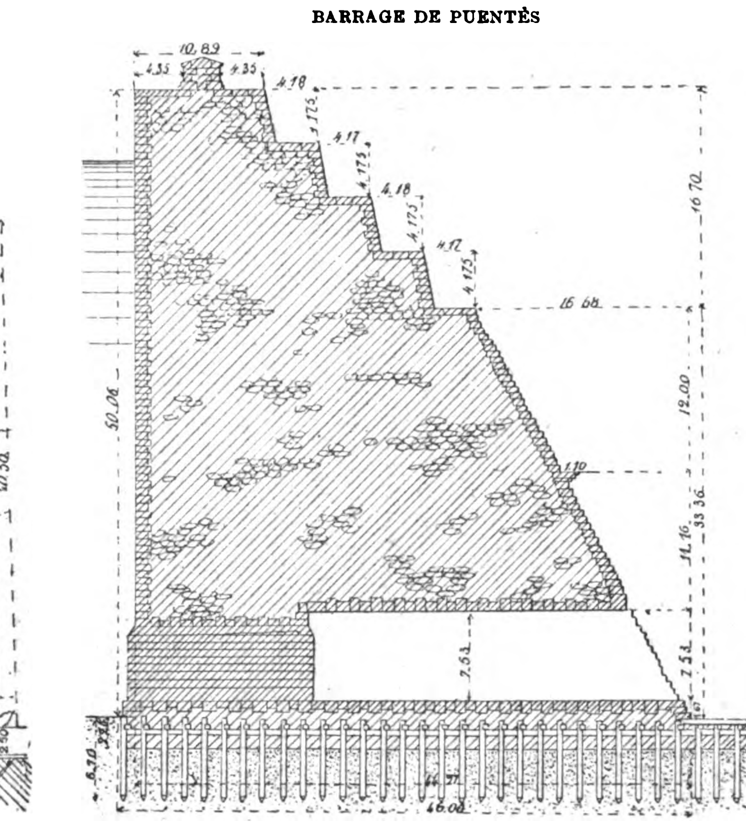
De 1785 à 1791, était construit sur le Guadalantin, un peu en aval du confluent du rio Luchéna, le barrage de Puentès (pl. LXXXIX) qui n'a fonctionné que onze ans et qui a été détruit, le 30 avril 1812, dans des circonstances sur lesquelles nous aurons à revenir plus tard. Sa hauteur totale s'élevait

Digitized by Google

BARRAGE D'ALICANTE



BARRAGE DE PUENTÈS



Pl. LXXXIX. ANCIENS BARRAGES ESPAGNOLS.

Digitized by Google

à 50 m. 06; la largeur, de 46 mètres à la base, se réduisait à 10 m. 89 au sommet.

Le barrage du Val de Infierno (pl. CX), construit presque en même temps que le précédent, est situé dans une gorge du rio Luchéna, à 25 kilomètres de la ville de Lorca, dans la province de Murcie; il est aujourd'hui complètement envasé. Projeté pour une hauteur de 40 m. 50, il n'a été monté qu'à 35 m. 50 au-dessus du sol de fondation parce que, pendant la construction, on s'est aperçu qu'il existait à cette altitude un banc perméable dans lequel les eaux se seraient perdues. C'est sans doute à cette circonstance qu'il faut attribuer l'excès de largeur qu'il présente à la base.

Le barrage de Nijar (pl. XC) est plus récent; il a été construit de 1843 à 1850, dans une gorge du rio Carrizal, près de la petite ville dont il porte le nom. Sa hauteur totale à l'aval est de 30 m. 93, mais la hauteur effective de la retenue n'est que de 27 m. 55.

C'est à dessein que nous arrêtons ici cette énumération et que nous omettons un certain nombre de barrages construits en Espagne dans la seconde moitié du xixe siècle, mentionnés dans le rapport de M. Llaurado. Les dispositions qu'ils affectent semblent, en effet, avoir été déterminées sous l'influence d'idées nouvelles.

Assurément les considérations techniques précises, auxquelles ont pu obéir les constructeurs des barrages plus anciens, nous échappent; cependant ces ouvrages ne sont pas sans présenter certains traits communs qu'il est fort intéressant de faire ressortir. Ils ont tous à l'amont un parement à peu près vertical avec un empattement plus ou moins prononcé à l'aval, et d'autre part, en plan, ils affectent la forme d'une courbe dont la convexité est tournée du côté de l'eau. Il convient d'ailleurs de répéter que ces ouvrages ont été établis dans des gorges extrêmement étroites et fondés sur le rocher parfaitement solide. Pour un seul, le barrage de Puentès, cette dernière règle a été perdue de vue, et c'est ce qui a causé sa ruine.

Digitized by Google

BARRAGE DU VAL DE INFIERNO

BARRAGE DE NIJAR

Pl. XC. ANCIENS BARRAGES ESPAGNOLS

Digitized by Google

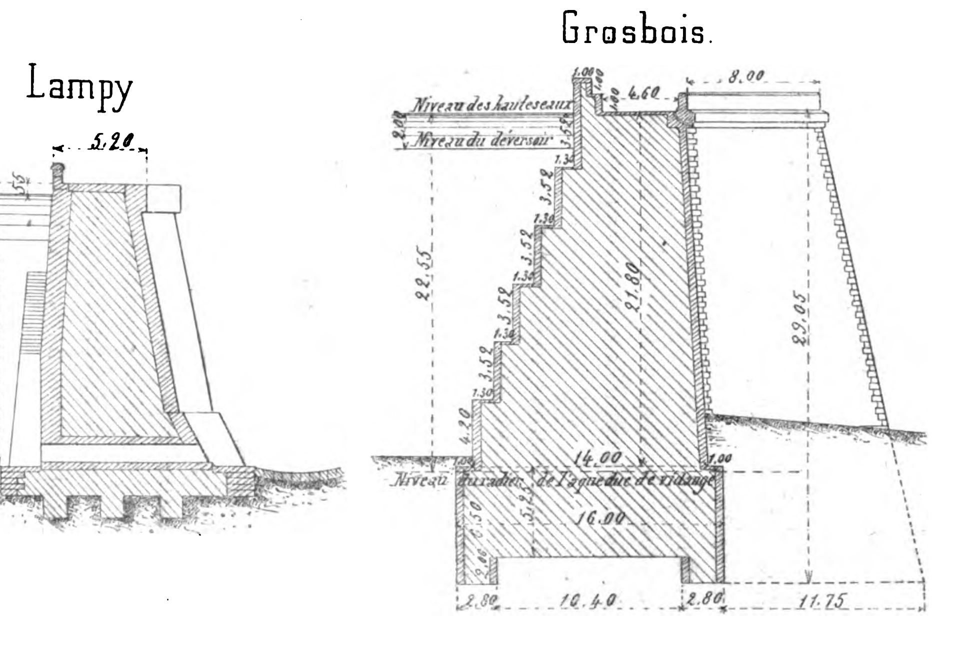
191. Anciens barrages français. — Le plus ancien des grands ouvrages de ce genre construits en France a été établi de 1777 à 1780, pour l'alimentation du canal du Midi, dans la vallée du Lampy, en vue de suppléer à l'insuffisance du réservoir de Saint-Ferréol (pl. XCI). La plus grande hauteur est de 16 m. 20 ; le parement intérieur est à peu près vertical tandis que le parement extérieur présente un fruit assez prononcé et est de plus contrebuté par dix contreforts. Cet ouvrage a, paraît-il, légèrement fléchi sous l'influence de la poussée de l'eau et a donné lieu, à l'origine, à des filtrations très abondantes qui ont à peu près disparu aujourd'hui.

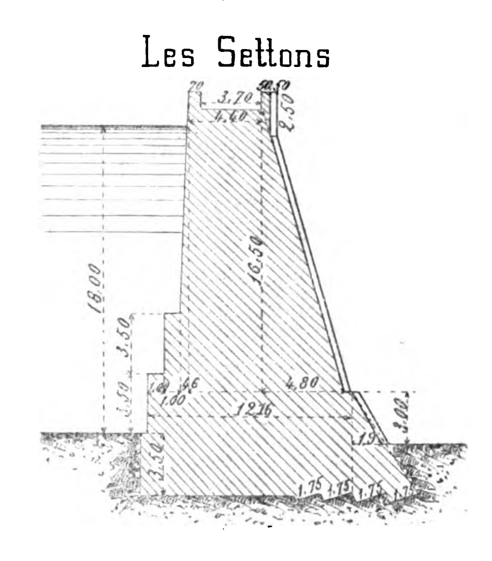
Les deux réservoirs de Grosbois (pl. XCI) et de Chazilly, créés de 1830 à 1838 pour l'alimentation du canal de Bourgogne, sont tous les deux constitués par des murs en maçonnerie ayant le même profil et des dimensions peu différentes. Ce profil comporte un parement amont présentant une forte inclinaison dessinée par des retraites successives, tandis que celui d'aval a un fruit uniforme de 1/20. Sous l'influence de la poussée de l'eau, ces murs ont fléchi et il s'y est produit des lézardes inquiétantes ; on a dû alors procéder à leur consolidation en les soutenant à l'aval par de puissants contreforts : neuf au barrage de Grosbois et six au barrage de Chazilly. Mais à Grosbois, le remède est resté insuffisant et, en dernière analyse, pour mettre fin à une situation toujours préoccupante, on a dû se décider à établir immédiatement à l'aval du barrage, au moyen d'une digue en terre, un second réservoir dont la retenue divise par moitié celle du premier.

A peu près à la même époque, de 1833 à 1842, ont été créés pour l'alimentation du canal de Nantes à Brest, les trois réservoirs du Vioreau, de Glomel et de Bosméléac. Les barrages qui constituent ces trois réservoirs n'ont de commun que leur faible hauteur ; leurs profils sont entièrement différents.

Le barrage du Vioreau, haut de 10 m. 50, se compose de deux murs en maçonnerie ordinaire à parement extérieur

Digitized by Google





Pl. XCI. ANCIENS BARRAGES FRANÇAIS

Digitized by Google

presque vertical (fruit de 1/50), entre lesquels on a coulé du béton (fig. 58) ; cette construction peu homogène a donné lieu à des suintements importants qui menaçaient l'existence même de l'ouvrage ; on y a remédié avec des coulis de ciment.

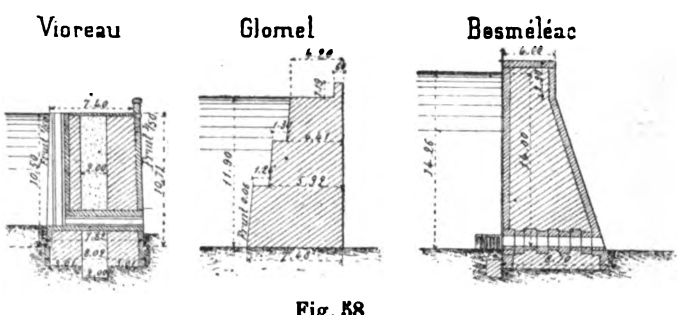


Fig. 58.

Le barrage de Glomel, établi sur un profil analogue à celui de Grosbois, n'a cependant éprouvé aucune déformation grâce, sans doute, à son peu de hauteur (11 m. 90). Enfin le barrage de Bosméléac, dont la retenue ne s'élève pas à plus de 14 m. 26 au-dessus du fond du réservoir, a été construit avec un profil qui rappelle celui du Lampy et se trouve dans de bonnes conditions.

Le réservoir des Settons a été créé de 1855 à 1858, sur la Cure, affluent de l'Yonne, non loin de Montsauche-en-Morvan. Le barrage (pl. XCI), dont la plus grande hauteur est de 20 mètres environ, est presque vertical à l'amont et présente, au contraire, un fruit prononcé vers l'aval (0,300 par mètre) ; il n'a pas éprouvé de mouvement apparent.

Ces anciens barrages français présentent une variété de formes qui témoigne de l'absence de toute règle générale pour la détermination des profils. Les constructeurs de ces ouvrages semblent s'être uniquement préoccupés de leur donner les dispositions nécessaires pour rendre impossibles : d'une part, le renversement par rotation autour de leur arête inférieure extérieure, que tend à produire la poussée de l'eau ; d'autre part, tout déplacement horizontal résultant d'un glisse-

Digitized by Google

ment soit sur la base soit sur l'une des assises. Après une étude attentive des avaries constatées aux barrages de Chazilly et de Grosbois, M. de Sazilly, le premier, a fait remarquer que cette double condition n'était pas suffisante. Il a montré qu'il fallait se préoccuper, au premier chef, des pressions supportées par les maçonneries ou par le sol sur lequel elles reposent, et qu'il importait de vérifier *si ces pressions ne dépassent en aucun point la limite qu'il est convenable de leur imposer eu égard à la résistance des matériaux qui les constituent.*

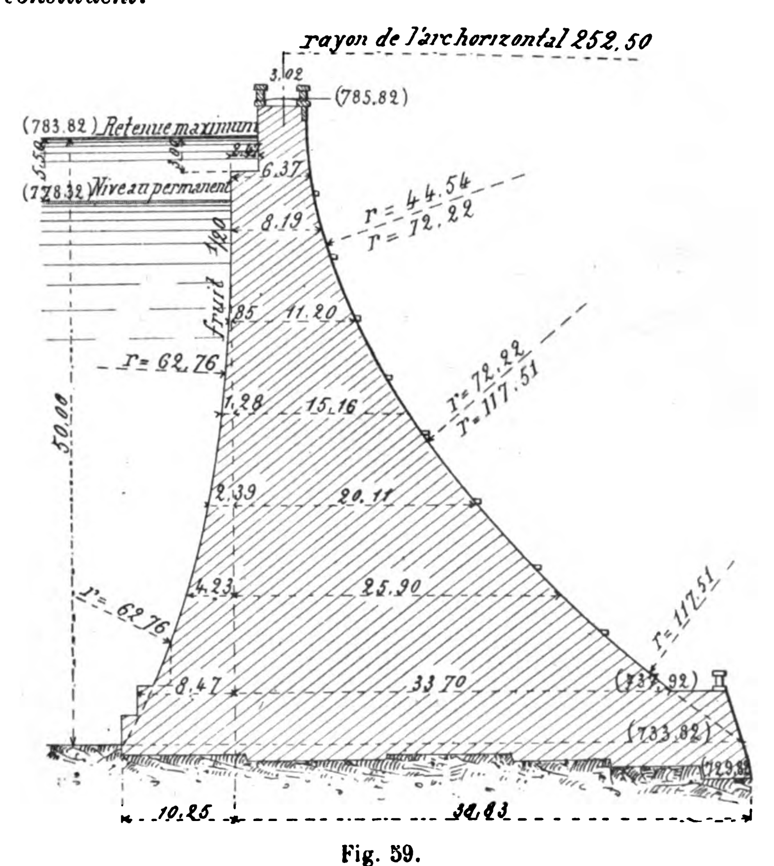


Fig. 59.

192. Barrage du Gouffre-d'Enfer. — La théorie de M. de

Sazilly complétée par M. Delocre, a été appliquée pour la première fois, par MM. Graeff et de Montgolfier[1], à la construction du célèbre barrage du Gouffre-d'Enfer établi de 1861 à 1866 sur le Furens, près du village de Rochetaillée, à 10 kilomètres en amont de Saint-Etienne.

Le profil de ce barrage (fig. 59) est très sensiblement celui du profil d'égale résistance calculé par M. Delocre. Il en diffère seulement en ce que les contours polygonaux déterminés à l'aide des formules ont été remplacés par des lignes droites et des courbes tangentes, de façon à éviter des jarrets qui auraient été d'un aspect disgracieux. En plan, il est disposé en arc de cercle tournant sa convexité du côté de l'eau (fig. 60) et ses extré-

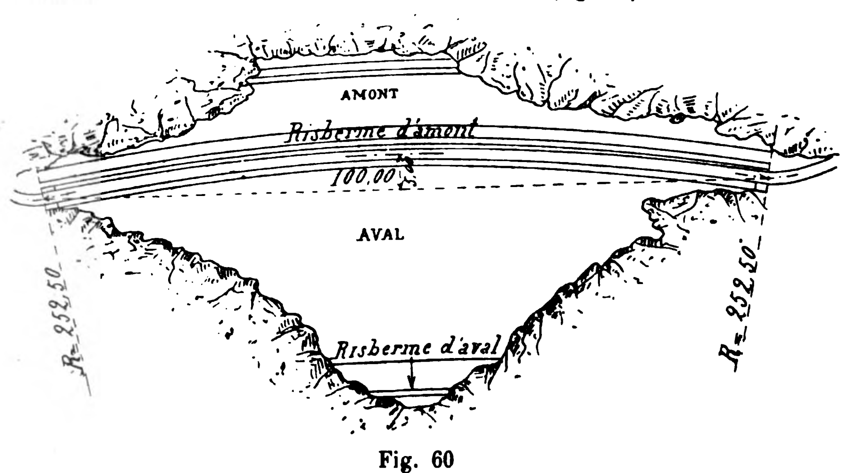


Fig. 60

mités sont solidement encastrées dans les parois rocheuses de la vallée, en vue de lui donner un surcroît de solidité. Les pressions maxima supportées par les maçonneries à diverses hauteurs, *sur le parement d'amont quand le réservoir est plein et sur le parement d'aval quand il est vide*, ne devaient dépasser, en aucun point, 6 kilogrammes par centimètre carré.

1. Cet ingénieur a publié dans les *Annales des Ponts-et-Chaussées*, 1875, 1er semestre, une importante notice sur les *Travaux exécutés pour la conduite d'eau de la ville de Saint-Etienne et la construction du réservoir du Furens*.

Digitized by Google

Le couronnement du barrage supporte une voie charretière placée à 2 mètres au-dessus du niveau maximum de la retenue. Cette voie est comprise entre deux parapets qui contribuent, surtout celui d'aval, à l'ornementation du couronnement. En outre, sur le parement d'aval, on a disposé, en quinconce, de grosses pierres formant des saillies destinées à recevoir les échafaudages dont on peut avoir besoin pour l'exécution des travaux d'entretien, et qui produisent à l'œil un très heureux effet, en rompant la monotonie qu'aurait présentée un parement d'une aussi grande surface (fig. 61).

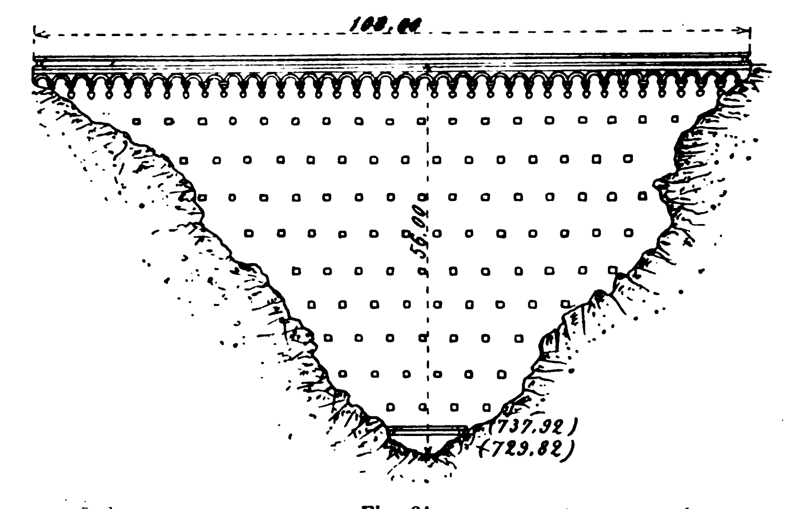


Fig. 61.

Le barrage de la Rive ou du Ban, construit de 1866 à 1870 dans le voisinage de Saint-Chamond, et celui du Pas-du-Riot, construit de 1873 à 1878 à 5 kilomètres en amont de celui du Gouffre-d'Enfer, également sur le Furens, ont été établis exactement sur le même type, avec cette seule différence que la pression limite imposée aux maçonneries a été portée à 8 kil. pour le premier et à 7 k. 50 pour le second.

Le meilleur moyen de se rendre compte de la véritable révolution opérée dans la construction des barrages en maçon-

Digitized by Google

nerie par l'adoption du profil rationnel inauguré au barrage du Furens est d'établir une comparaison avec les anciens barrages, comme l'a fait, par exemple, M. Graeff pour les anciens barrages espagnols mentionnés plus haut. Le tableau ci-après fait connaître, pour chacun d'eux, l'effort maximum imposé à la maçonnerie et le cube par mètre courant résultant des dispositions exécutées. Il donne, d'autre part, le cube par mètre courant auquel on serait arrivé en appliquant le type du Furens sans dépasser, pour les maçonneries, la pression maximum de 6 kil. par centimètre carré.

DÉSIGNATION des barrages	Hauteur des barrag.	Pression maxim. par cent. carré	Cube par mèt. courant		Différence	
			Type exécuté	Type du Furens	absolue	relative
Barrage de Puentès. .	50m	7k90	1.519mc	1.029mc	490mc	0 32
— d'Alicante . .	41	11 30	1.100	566	534	0 49
Bar. du Val de Infierno	35 70	6 50	1.084	391	693	0 64
Barrage du Nijar . . .	27 50	7 50	499	308	191	0 38
— d'Elche . . .	23 20	12 70	243	187	56	0 23
— d'Almanza . .	20 70	14 00	139	141	— 2	—0 015

Ainsi, au barrage de Puentès, tout en employant un cube de maçonnerie de près de 50 0/0 plus élevé qu'au Furens, on soumettait la maçonnerie à des pressions atteignant 7 k. 90 par centimètre carré. Au barrage d'Alicante cette pression maximum s'élève à 11 k. 30, bien que le cube de maçonnerie soit presque double de celui du profil rationnel. Au barrage d'Almanza le cube du profil exécuté est sensiblement égal à celui du profil rationnel, mais la pression maximum augmente encore et il aurait été facile de la réduire de plus de moitié sans augmentation de dépense.

193. Barrages construits en France postérieurement au barrage du Gouffre-d'Enfer. — Le barrage du Ternay

Digitized by Google

(fig. 62), a été construit presque en même temps que celui du Gouffre-d'Enfer (de 1861 à 1867), en vue de créer un réservoir destiné à l'alimentation de la ville d'Annonay (Ardèche). Le

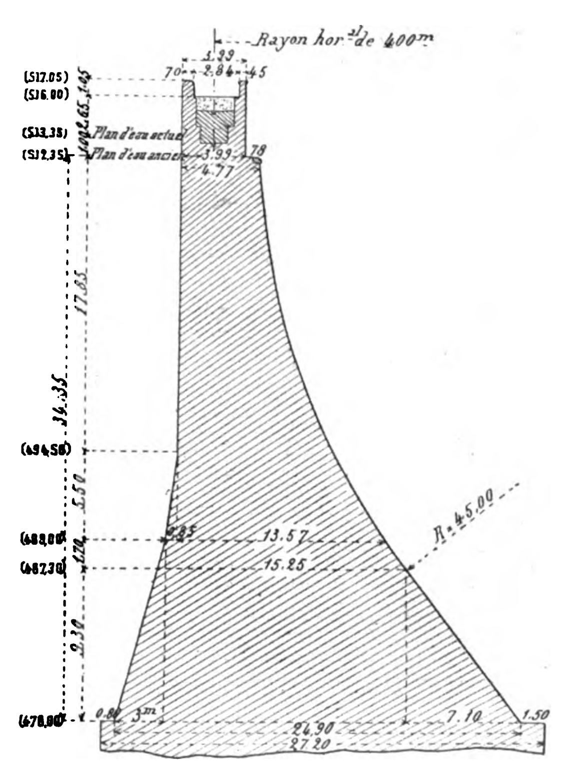


Fig. 62.

profil adopté par M. l'ingénieur Bouvier diffère de celui du barrage du Furens, principalement en ce que son parement d'amont est vertical sur une grande hauteur. Il a d'ailleurs été établi d'après les mêmes principes, mais la pression maximum par centimètre carré qui, d'après les formules de M. Delocre, n'aurait pas dépassé 7 kil., a atteint 9 k. 30 d'après de nouvelles formules établies par M. Bouvier ; elle a même été portée à 12 kil. par suite d'un relèvement de 1 mètre dans le niveau de la retenue normale. En plan,

Digitized by Google

le barrage est disposé suivant un arc de cercle convexe vers l'amont, dont le rayon est de 400 mètres sur l'axe de la voie charretière qui surmonte le couronnement. Ce couronnement, qui a 3 m. 65 de hauteur sur 3 m. 99 d'épaisseur, a un développement de 161 mètres.

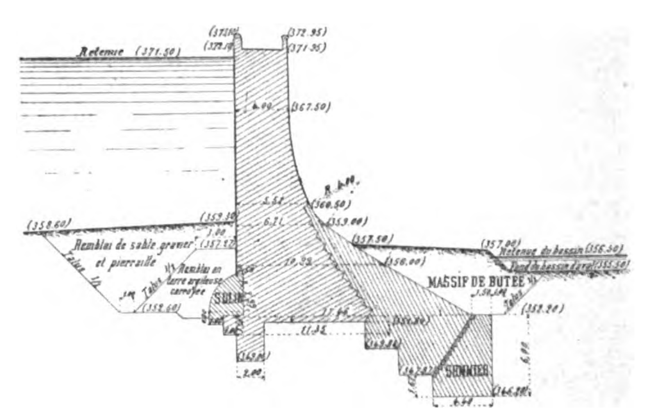


Fig. 63.

C'est ici qu'il convient de mentionner le barrage de Bouzey (fig. 63) construit en vue de créer un réservoir pour l'alimentation du canal de l'Est, bien qu'il ait été mis en service seulement en 1884 et qu'il ait été remanié en 1888-1889 ; le projet de cet ouvrage remonte, en effet, à 1872. La retenue créée était de 15 mètres au-dessus du seuil de la vanne de vidange, mais la hauteur totale entre la base du mur de garde et la crête des parapets surmontant le couronnement atteignait 24 m. 10. Après les travaux exécutés en 1888-1889, cette hauteur totale, mesurée depuis la base du sommier de butée établi à l'aval, avait été portée à 26 m. 90.

Signalons encore le barrage de Pont (fig. 64), établi de 1878 à 1881, sur la rivière d'Armançon, pour constituer un réservoir d'alimentation du canal de Bourgogne. Le profil est analogue à celui du Furens, mais il en diffère cependant par quelques détails. Le parement d'amont est rectiligne, avec un fruit de

Digitized by Google

1/20, tandis que le parement d'aval est profilé : d'abord, sur 18 mètres de hauteur, suivant un arc de cercle de 30 mètres de rayon; puis suivant la tangente, c'est-à-dire avec une inclinaison de 3 de base pour 4 de hauteur. La retenue ne s'élève qu'à 20 mètres au-dessus du radier des aqueducs de vidange, mais la hauteur totale du mur, entre la base des fondations et la crête du parapet qui surmonte le couronnement, est de 27 m. 59.

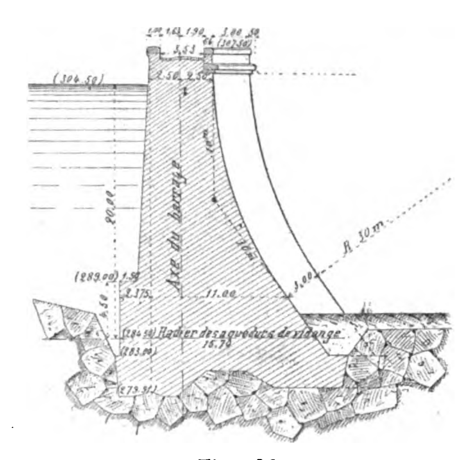


Fig. 64.

Tracé en plan suivant un arc de cercle de 400 mètres de rayon, ce barrage n'a que 150 mètres de développement et 7 m. 10 de flèche. On a cru devoir renforcer le profil par huit contreforts, de 3 mètres de saillie, profilés parallèlement au parement aval du mur et présentant un fruit de 1/20 sur leurs faces latérales.

Arrivons enfin aux deux derniers en date, les barrages de la Mouche et du Chartrain construits, le premier de 1885 à 1890, le second de 1888 à 1892.

Le barrage de la Mouche (fig. 65 et 66, page 452) a été établi sur la rivière de ce nom pour créer un réservoir destiné à l'alimentation du canal de la Marne à la Saône. Il est rectiligne en plan ; sa longueur totale est de 410 m. 25 et la hauteur de la retenue au-dessus du seuil de la bonde de fond est de

Digitized by Google

22 m. 55. Les terrains suffisamment résistants pour porter une semblable construction n'ayant été rencontrés qu'à une assez

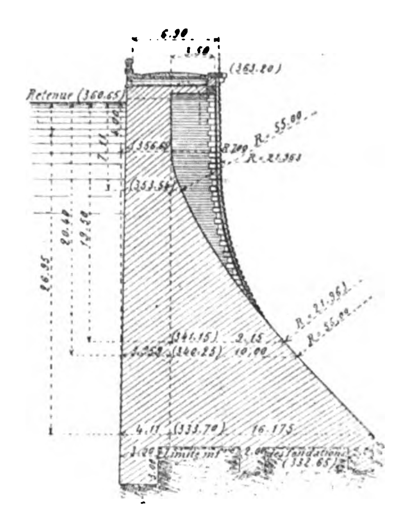


Fig. 65.

grande profondeur, sa hauteur totale est, en réalité, beaucoup plus grande ; elle atteint, au maximum, 34 m. 92 entre la

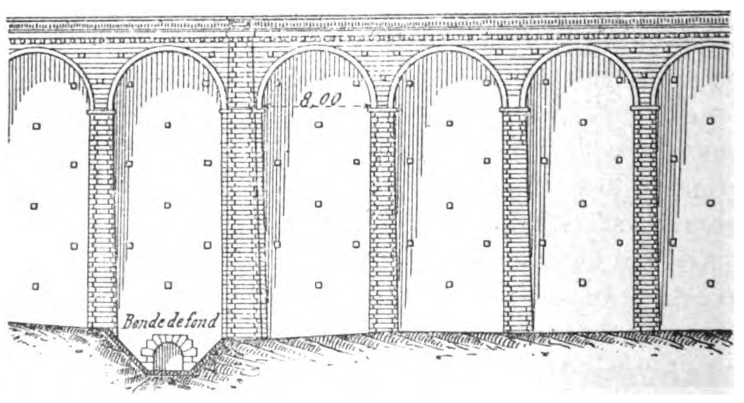


Fig. 66.

base du mur de garde et le sommet du parapet. Le couronnement du barrage devait former l'assiette d'un chemin vicinal

Digitized by Google

large de 7 mètres et, cependant, il n'eût pas été rationnel de lui donner une aussi grande largeur. On a résolu la question par une disposition très heureuse due à M. l'inspecteur général Carlier et qui consiste à appliquer sur le parement d'aval une sorte de viaduc formé de 40 arches de 8 mètres d'ouverture. Cette solution très avantageuse, en même temps qu'elle économise la maçonnerie, donne à l'ouvrage un aspect architectural des plus satisfaisants. Il a été, d'ailleurs, tenu compte du viaduc dans les calculs de résistance du barrage.

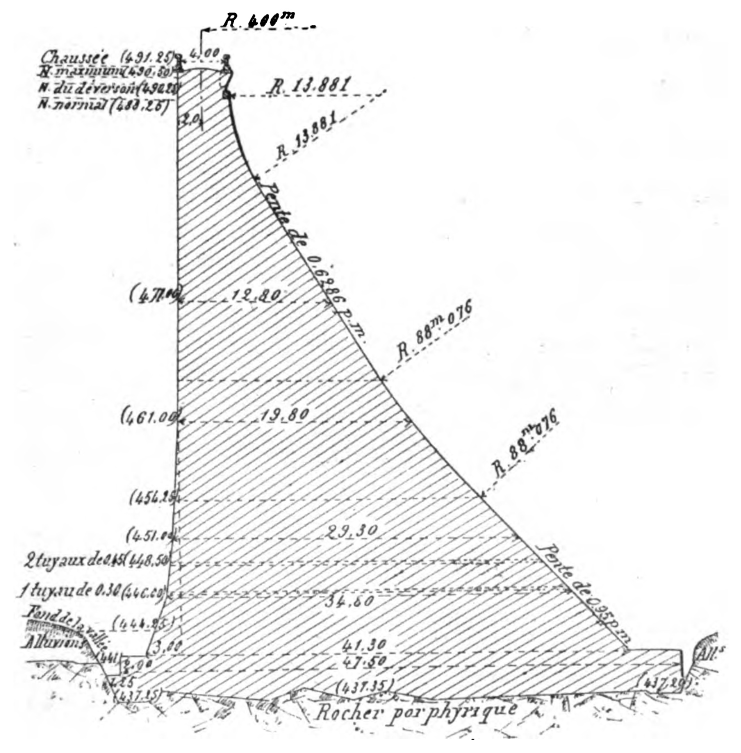


Fig. 67.

Le barrage du Chartrain (fig. 67) est établi sur le ruisseau de la Tâche, affluent du Renaison qui, lui-même, se jette dans la Loire, à Roanne ; le réservoir créé a pour objet l'alimentation de

Digitized by Google

cette dernière ville. L'axe du barrage a été tracé suivant une courbe convexe vers l'amont, de 400 mètres de rayon, et la hauteur de la retenue déterminée par la crête du déversoir est de 46 mètres. Sur le couronnement a été établie une voie charretière de 4 mètres de largeur supportée, du côté d'aval, par une série de voûtes d'évidement et de pilastres qui servent à l'ornementation. Le profil adopté se rapproche de celui du Ternay en ce que le parement d'amont est vertical sur une grande hauteur, mais le parement d'aval présente une concavité moins prononcée. La limite supérieure des pressions imposées à la maçonnerie a été portée à 11 kil. par centimètre carré; mais on a pris pour la valeur de ces pressions le chiffre le plus élevé résultant de l'application des différentes formules proposées par MM. Delocre, Bouvier et Guillemain. *On s'est, de plus, attaché à éviter tout travail à l'extension sur le parement amont lorsque le réservoir est plein*, condition nouvelle dont l'importance avait été, à bon droit, signalée par M. l'inspecteur général Guillemain [1]. Au Ve congrès de navigation intérieure tenu à Paris en 1892, on a déclaré que le barrage du Chartrain pouvait être considéré comme étant le spécimen le plus parfait du type français. Il n'échappera pas au lecteur que le profil de ce barrage se rapproche singulièrement du profil triangulaire.

194. Barrages algériens. — On conçoit aisément les avantages que peut présenter la pratique des irrigations dans un pays comme l'Algérie. On sait, d'autre part, tout le parti que les Espagnols ont su tirer, dans des conditions analogues, de l'emmagasinement, au moyen de barrages, des crues des petits cours d'eau ; il n'est donc pas étonnant que de nombreux et importants barrages de réservoirs aient été créés en Algérie depuis la conquête française. On comprend également que les dispositions adoptées pour l'établissement de ces ouvrages ne

1. *Cours de navigation intérieure, Rivières et canaux* ; pages 343 et suivantes.

Digitized by Google

diffèrent pas notablement de celles qui ont été adoptées en France. Aussi, pour ne pas prolonger indéfiniment cette revue des différents barrages en maçonnerie, nous n'en citerons qu'un, celui de l'Habra, sur lequel nous aurons à revenir à raison du grave accident auquel il a donné lieu.

Cet ouvrage (fig. 72, page 465), commencé en 1856 et terminé en 1871, est établi au confluent de l'Habra et de l'Oued-Fergoug ; il présente en crête une longueur de 455 mètres, en y comprenant un déversoir de superficie qui lui est accolé et dont le développement est de 125 mètres. La hauteur normale de la retenue est de 32 mètres au-dessus du plan de comparaison adopté, soit de 27 mètres au-dessus du radier de la bonde de fond, mais on a admis que, pendant les crues, elle pourrait subir un exhaussement momentané de 1 m. 60. La capacité du réservoir créé est de 30 millions de mètres cubes. Le barrage a été rompu en 1881 et, lors des travaux de réparation exécutés de 1883 à 1887, son profil primitif, celui qui est représenté dans la figure 72, a été notablement modifié et renforcé.

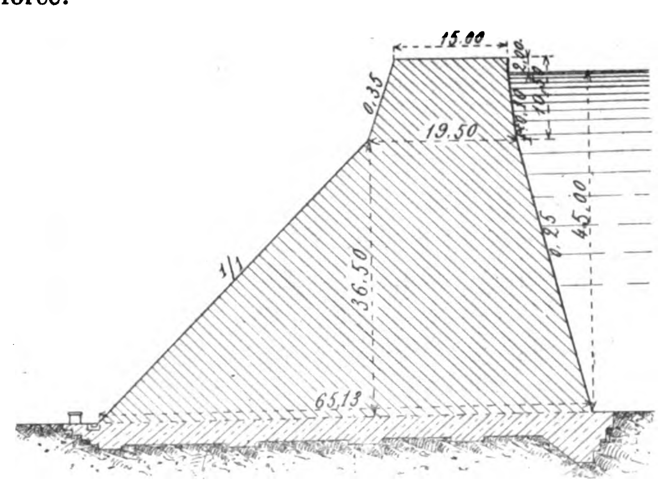


Fig. 68.

195. Barrages construits à l'étranger. — Le barrage de la Gilippe (fig. 68), en Belgique, a été construit sur la

Digitized by Google

rivière de ce nom, pour créer un réservoir destiné à l'alimentation de la ville de Verviers[1]. La hauteur de retenue est de 45 mètres et la capacité correspondante de 14.000.000 de mètres cubes. Bien que ce barrage ait été construit de 1870 à 1875, c'est-à-dire postérieurement à ceux du Furens, du Ternay et de la Rive, il n'a pas été édifié suivant la méthode appliquée dans ces derniers ouvrages. On a, au contraire, employé un profil excessivement massif et dans lequel le volume de maçonnerie est à peu près double de ce qu'il pourrait être sans imposer une plus grande charge aux maçonneries. La pression maximum atteint en effet 6 kilogrammes par centimètre carré. En plan, le barrage est établi suivant un arc de cercle de 500 mètres de rayon dont le développement est de 82 mètres à la base et de 235 mètres au sommet.

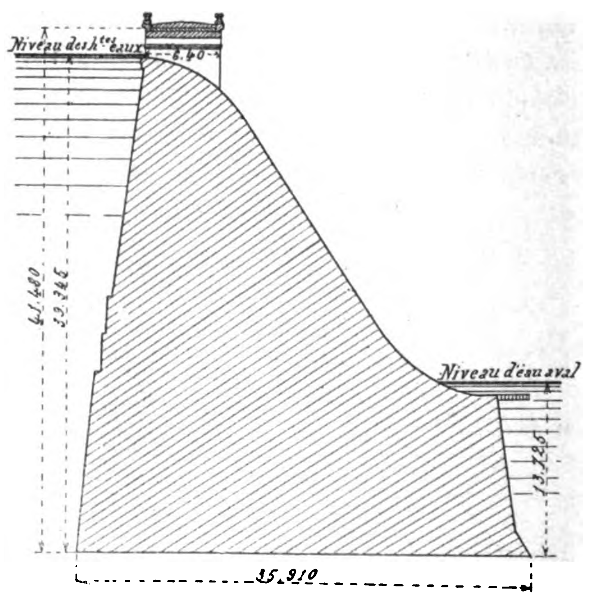


Fig. 69.

1. Voir le *Génie civil* : tome III, n° 15, page 349; tome XXVII, n° 15, page 235.

Le barrage du Vyrnwy (fig. 69), en Angleterre, a été construit de 1881 à 1888 pour l'alimentation de la ville de Liverpool[1]. Le réservoir ainsi créé ne contient pas moins de 55 millions de mètres cubes, bien que la longueur du barrage atteigne à peine 355 mètres et que la hauteur de la retenue, au-dessus du niveau de la rivière à l'étiage, ne soit que de 26 m. 62. Toutefois on a été obligé, pour rencontrer un sol imperméable et incompressible, de descendre les fondations très profondément, à 13 m. 725 au-dessous de l'étiage, si bien que la hauteur de la retenue au-dessus de la base des fondations est de 39 m. 345. Le profil adopté a 35 m. 91 d'épaisseur à la base; il comporte à l'amont un parement dont l'inclinaison générale est de $\frac{1}{7,27}$ et à l'aval un parement en forme de doucine, composé d'une courbe convexe raccordée par une ligne droite à une courbe concave. Le barrage est surmonté d'un viaduc qui donne passage à une route de 6 m. 40 de largeur et qui s'appuie sur la crête par une série d'arcades d'un très heureux effet. Ce barrage semble présenter un excès de maçonnerie, mais on conçoit qu'on ait cherché des garanties de solidité exceptionnelles, attendu qu'il doit jouer, sur toute sa longueur, le rôle de déversoir.

C'est également là le trait caractéristique de certains barrages en maçonnerie très importants construits dans les Indes. Sur tout ou partie de leur longueur, ils forment déversoir pour donner passage aux crues des rivières qu'ils barrent.

Tel est, par exemple, le barrage de la Betwa établi sur la rivière de ce nom, dont le débit pendant les crues atteint 20.000 mètres cubes par seconde[2]. Fondé sur le rocher granitique, il est entièrement construit en pierres de granit avec mortier de ciment et s'élève à plus de 15 mètres au-dessus des points les plus bas de la vallée. Il a 4 m. 50 d'épaisseur

1. Voir le *Génie civil* : tome XXI, n° 23, page 373, et n° 25, page 411 ; tome XXVII, n° 15, page 236.

2. *Ve Congrès international de navigation intérieure,* rapport de M. Barois.

Digitized by Google

au sommet et 18 m. 60 à la base (fig. 70). Il présente un parement courbe très incliné du côté d'amont, tandis que le parement d'aval, vertical sur une certaine hauteur à partir du sommet,

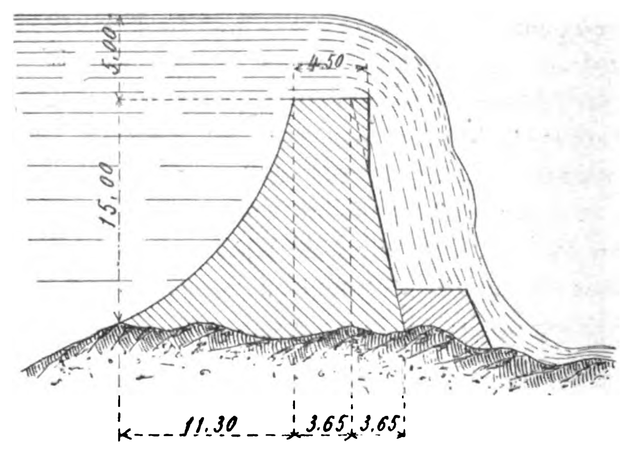


Fig. 70.

est ensuite incliné suivant un fruit de 0 m. 24 par mètre. Un petit contrefort en maçonnerie formant risberme, établi tout le long du barrage au pied du parement extérieur, protège la surface du rocher contre les affouillements que pourrait produire l'énorme masse d'eau qui, en temps de crue, se déverse par-dessus la crête de l'ouvrage. La lame déversante a atteint jusqu'à 5 mètres de hauteur.

La formidable capacité du réservoir créé tout récemment sur le Nil, à Assouan, en tête de la première cataracte (*un milliard soixante-cinq millions de mètres cubes*) pourrait être, à elle seule, une raison suffisante pour que nous fassions ici mention de cet ouvrage ; mais il présente bien d'autres particularités remarquables et il donne la solution d'un problème exceptionnellement délicat. Il faut, en effet, pendant la crue du Nil, laisser passer librement les eaux chargées de matières fertilisantes, sans rien retenir du précieux limon. Pendant les mois de décembre à mars, les eaux devenues claires restent

Digitized by Google

surabondantes ; c'est le moment de remplir le réservoir. On le vide ensuite, en mai, juin et juillet, période durant laquelle le débit naturel du Nil est insuffisant pour assurer le service des irrigations.

Le barrage, tracé en ligne droite à travers le fleuve, est long de 1.950 mètres. Son couronnement est établi à l'altitude (109.00) (pl. XCII, page 461), soit 3 mètres au-dessus du plus haut niveau des eaux dans le réservoir dont la retenue est réglée à l'altitude (106,00). L'étiage du Nil, immédiatement en aval étant à l'altitude (86,00) la chute peut atteindre 20 mètres quand le réservoir est plein.

La longueur totale indiquée ci-dessus se partage inégalement entre deux sections : l'une longue de 550 mètres joignant la rive droite, où le barrage est massif ; l'autre de 1.400 mètres joignant la rive gauche, où le barrage est percé d'orifices ou pertuis, au nombre de 180, d'une largeur uniforme de 2 mètres, présentant ensemble, par conséquent, une largeur libre de 360 mètres, sensiblement égale à celle de la Tamise, au pont de Westminster. Ces pertuis forment des groupes, généralement de 10, ayant respectivement leur seuil aux altitudes (100,00), (96,00), (92,00) et (87,50), soit 6 mètres, 10 mètres, 14 mètres et 18 m. 50 au-dessous de la retenue. Les pertuis d'un même groupe sont distants de 7 mètres d'axe en axe, les pertuis extrêmes de deux groupes consécutifs de 12 mètres. Ceux dont les seuils sont aux altitudes (100,00) et (96,00) ont 3 m. 50 de hauteur, les autres 7 mètres. Sur les 180 pertuis, 130 sont munis de vannes Stoney [1], les 50 autres de vannes ordinaires.

C'est en manœuvrant convenablement les vannes des pertuis que l'on peut, suivant les circonstances, laisser passer librement les eaux limoneuses du fleuve, emmagasiner les eaux claires lorsqu'elles sont surabondantes, et les restituer ensuite au cours du Nil. La vitesse de l'eau dans les pertuis peut attein-

1. *Rivières canalisées*, chapitre I, § 4, page 27.

Digitized by Google

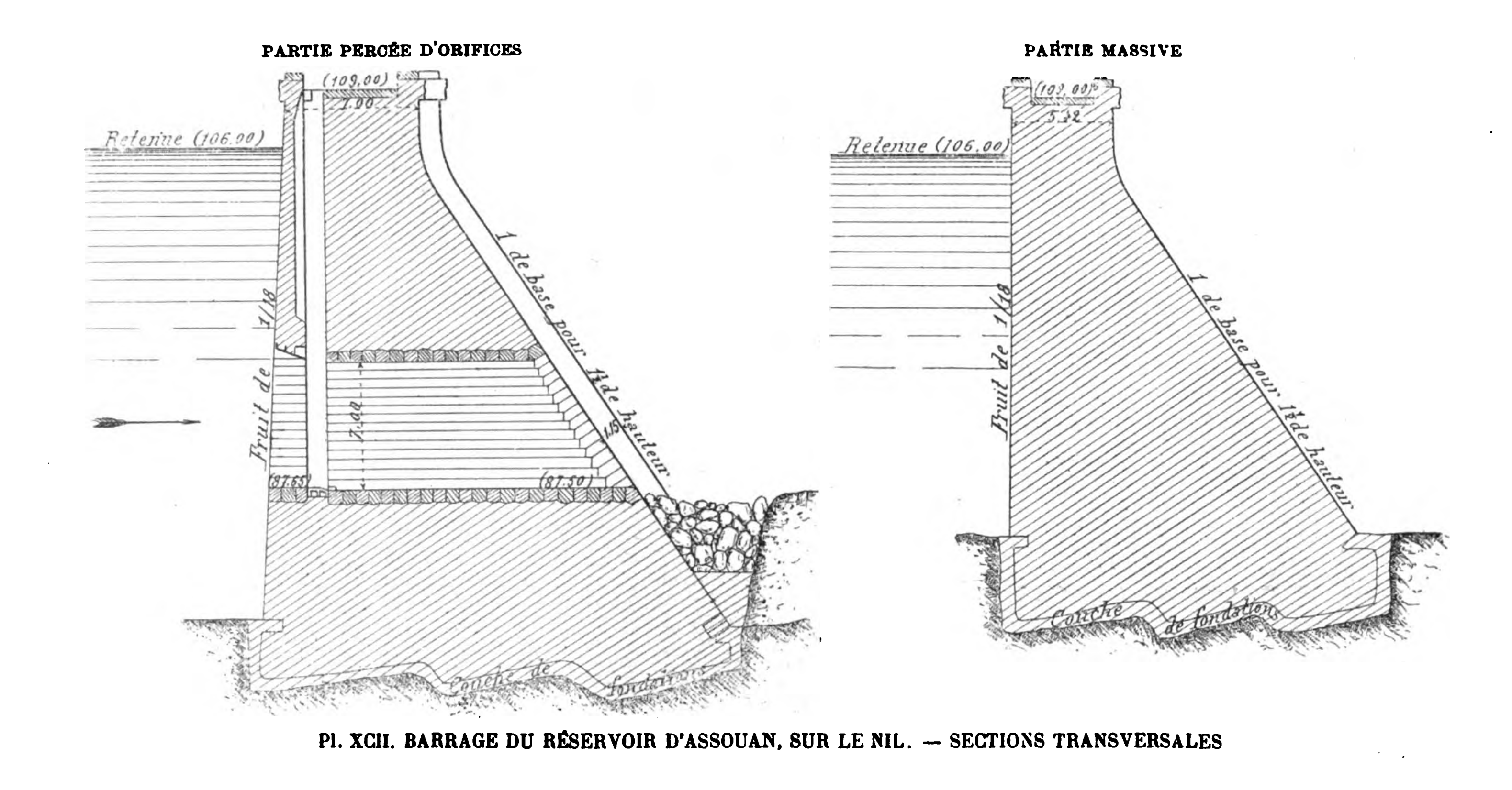
dre des chiffres considérables, aussi sont-ils parementés en pierres de taille ; 30, parmi ceux dont le seuil est au niveau le plus bas, sont même pourvus d'un revêtement en fonte.

Le profil du barrage ne varie d'une section à l'autre que par la largeur au sommet, qui est de 5 m. 42 dans la section où le barrage est massif et de 7 mètres dans celle où il est percé d'orifices. Le parement d'aval est uniformément incliné à 2 de base pour 3 de hauteur; le parement d'amont présente un fruit régulier de 1/18. Dans chaque intervalle entre deux groupes de pertuis, un contrefort profilé comme le parement d'aval du barrage fait saillie de 1 m. 15 sur ce parement.

La construction, entièrement fondée sur le rocher, est toute en granit avec mortier de ciment de Portland. Ainsi que nous l'avons dit plus haut, les pertuis non pourvus d'un revêtement en fonte sont parementés en pierres de taille ; les parements de la digue sont en moellons équarris, le massif en moellons bruts. Le mortier était généralement composé de 4 de sable pour 1 de ciment, sauf emploi d'un mortier plus riche (2 de sable pour 1 de ciment) dans les parties de la construction soumises à des sujétions spéciales, couche de fondation, parement d'amont, rejointoiements, etc... Le travail maximum de la maçonnerie, à la compression, ne doit pas dépasser 4 k. 35 par centimètre carré sur le parement d'aval (réservoir plein) et 6 k. 32 sur le parement d'amont (réservoir vide).

La première pierre de ce gigantesque ouvrage a été posée par le duc de Conaught le 12 février 1899 ; les maçonneries ont été entièrement terminées à la fin de juin 1902, soit moins de 3 ans 1/2 après. C'est à regret que nous nous limitons aux indications sommaires données ci-dessus; le lecteur désireux d'avoir plus de détails les trouvera dans les *Proceedings of the institution of civil engineers*, dans deux rapports intitulés *Sluices and Lock-Gates of the Nile reservoir Assuan* et *The Nile reservoir Assuan*. A la date de ce dernier rapport, la dépense s'élevait, d'après l'auteur, à près de 2.450.000 livres sterling ; soit 61.250.000 francs, ce qui correspond, en nombre rond, à 0 fr. 06 par mètre cube de capacité.

Digitized by Google



Pl. XCII. BARRAGE DU RÉSERVOIR D'ASSOUAN, SUR LE NIL. — SECTIONS TRANSVERSALES

Digitized by Google

Si nous terminons cette revue par le barrage du rio Grande (fig. 71), établi dans l'isthme de Panama en vue de l'exécution des travaux du canal inter-océanique, ce n'est pas qu'il se recommande à l'attention par la capacité du réservoir qu'il crée (500.000 mètres cubes), ou par sa hauteur (11 m. 60) ; c'est à raison de son mode tout spécial de construction[1]. Grâce au peu de largeur et à la solidité des flancs de la vallée, on a eu l'idée de déterminer le profil du barrage en le considérant comme une voûte cylindrique à axe vertical reportant la pression de l'eau sur les appuis latéraux. Le rayon de l'arc de cercle suivant lequel son axe est implanté est de 15 mètres et son développement en couronne est de 32 m. 17. La fondation en béton, solidement encastrée dans le rocher, n'a que 4 mètres de largeur et le mur lui-même n'a que 3 m. 60 d'épaisseur à la base et 1 m. 10 au sommet. Si le mur avait été calculé d'après la méthode ordinaire, c'est-à-dire sans tenir compte de la résistance des appuis latéraux, son épaisseur aurait été presque triple ; cependant il s'est parfaitement comporté depuis 1888, époque de sa construction.

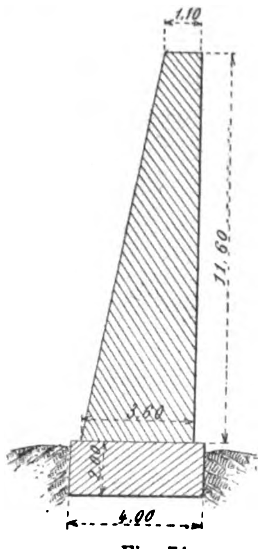


Fig. 71.

196. Ruptures de barrages en maçonnerie. — La revue que nous venons de passer d'un certain nombre de types de barrages en maçonnerie resterait incomplète si nous ne revenions sur les graves accidents qui se sont produits à quelques-uns d'entre eux. Rien ne peut être plus instructif que l'étude de ces accidents et surtout la recherche des causes auxquelles ils doivent être attribués.

1. Voir le *Génie civil*, tome XXVII, n° 15, page 237.

Digitized by Google

Nous avons déjà mentionné plus haut (page 438) la rupture du *barrage de Puentès*, construit en Espagne de 1785 à 1791 pour créer une retenue de 50 mètres de hauteur, et dont la partie centrale était fondée sur pilotis tandis que ses deux extrémités étaient assises sur le rocher solide. Pendant les onze années qui suivirent sa construction, l'insuffisance des pluies ne permit pas le remplissage du réservoir, et le niveau de la retenue se maintint à 25 ou 30 mètres seulement au-dessus du fond. En avril 1802, de fortes pluies occasionnèrent une rapide ascension des eaux et le réservoir fut détruit avant même d'avoir été entièrement rempli. Toute la partie inférieure de la portion du barrage non assise sur le rocher fut emportée avec le sol de fondation ; l'ouvrage présente, depuis sa rupture, la forme d'un pont, dont les culées sont les parties fondées sur les roches latérales et dont l'ouverture est de 17 mètres de largeur pour 33 de hauteur. Plus de 600 personnes furent noyées dans ce désastre, 89 maisons furent détruites et les pertes occasionnées s'élevèrent à 5.500.000 francs. La cause de la rupture est ici d'une complète évidence ; c'est l'insuffisante résistance du sol de fondation.

C'est à une cause analogue qu'on doit attribuer la destruction, survenue le 8 février 1885, de deux barrages en maçonnerie établis sur le Sig, en Algérie, l'un à *Saint-Denis-du-Sig* et l'autre à 22 kilomètres plus haut, aux *Cheurfas*. Le réservoir d'amont, d'une contenance de 18 millions de mètres cubes était à peine rempli pour la première fois, quand les eaux emportèrent, non pas le barrage lui-même, mais une partie d'un des versants dans lesquels il était encastré. Ce barrage était enraciné, sur la rive droite de la vallée, dans des marnes perméables qui ne purent supporter la pression des eaux. L'énorme masse liquide, qui fit ainsi une irruption soudaine, atteignit bientôt le réservoir de Saint-Denis-du-Sig, d'une capacité beaucoup moindre, et l'eut vite rempli. L'eau s'éleva à 5 m. 40 d'autres disent à 6 m. 50, au-dessus de la crète de ce second barrage qui se trouva ainsi transformé en un gigan-

Digitized by Google

tesque déversoir. Il ne put supporter un pareil effort et une heure après l'ouverture de la brèche du premier, il s'effondrait à son tour. Mais, en somme, sa rupture n'a été que la conséquence de l'accident survenu au barrage supérieur ; elle ne paraît due à aucun vice de construction ; il y a plutôt lieu de s'étonner que cet ouvrage ait pu tenir aussi longtemps.

Quoi qu'il en soit, la plaine de Saint-Denis-du-Sig fut complètement ravagée, la ville envahie, le pont du chemin de fer emporté et un certain nombre de maisons détruites. Heureusement, on avait eu le temps de prévenir les habitants et on n'eut à déplorer la mort que d'une dizaine de personnes.

Si on rapproche l'accident survenu au barrage des Cheurfas de celui du barrage de Puentès, on voit combien est délicat le choix des emplacements des réservoirs et on doit reconnaître qu'il est indispensable de disposer, pour l'assiette des barrages en maçonnerie, de terrains absolument compacts et résistants.

Tout autres sont les causes de la rupture déjà mentionnée (page 455), du *barrage de l'Habra*. Terminé en 1871, ce barrage a été emporté sur 140 mètres de longueur le 16 décembre 1881, à la suite d'une forte crue. Ici ce ne sont pas les fondations qui ont cédé, comme à Puentès, mais, au contraire, la partie supérieure de l'ouvrage qui a été renversée.

Nous avons dit que la retenue normale était déterminée par la crête d'un déversoir de 125 mètres de longueur accolé au barrage ; on avait admis que cette retenue pourrait être, au plus et momentanément, exhaussée de 1 m. 60, c'est-à-dire qu'une lame d'eau de 1 m. 60 passant sur le déversoir suffirait à écouler les plus fortes crues de la rivière. Un an à peine après l'achèvement du barrage, on devait constater que ces prévisions étaient insuffisantes ; le 10 mai 1872, la hauteur d'eau sur la crête du déversoir s'élevait à 2 mètres et cet ouvrage subissait une sérieuse avarie que l'on se contenta de réparer. Neuf ans plus tard, le 16 décembre 1881, survint une crue

Digitized by Google

encore plus forte, le déversoir fut surmonté de 2 m. 25 et, cette fois, c'est le barrage lui-même qui fut emporté. Par la gravité des conséquences, ce désastre est tout à fait comparable à celui de Puentès. Le village de Perrégaux, situé un peu à l'aval, fut entièrement dévasté, la gare du chemin de fer détruite, la voie coupée sur 1.700 mètres, toutes les communications interrompues, et on évalue à 400 environ le nombre des victimes.

En ce qui concerne les causes de l'accident, diverses explications ont été données, notamment la suivante. Si on étudie la répartition des pressions dans le barrage en question, on constate qu'il existait sur le parement d'amont toute une zone qui était soumise à des efforts d'extension. Le point faible formé par l'angle rentrant A du parement intérieur se trouvait dans cette zone (fig. 72). On peut donc penser que le mur s'est

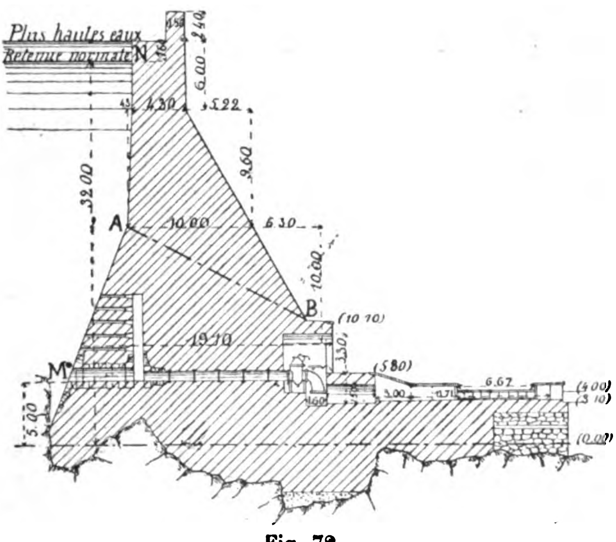


Fig. 72.

d'abord fissuré en A sous l'influence d'efforts de traction qui dépassaient, en ce point, 1 kil. par centimètre carré. Une fois la fissure produite sur une certaine profondeur, les sous-pressions qui s'y sont développées ont, en allégeant la partie

Digitized by Google

supérieure du mur, augmenté la pression sur le parement d'aval. De ce fait, les tractions en A se sont trouvées augmentées à leur tour et ont déterminé un approfondissement de la fissure qui, lui-même, a causé une nouvelle élévation de la pression sur le parement d'aval, et ainsi de suite jusqu'à ce que cette pression ait été suffisante pour déterminer l'écrasement des matériaux aux points les plus chargés et le renversement de la partie supérieure du barrage.

L'accident aurait donc été dû à ce que, sur une partie du parement d'amont, les maçonneries étaient exposées à des efforts d'extension lorsque le réservoir était plein. Nous avons déjà dit (page 454) que l'on considérait aujourd'hui comme absolument inadmissible la possibilité d'efforts de ce genre.

La rupture du *barrage de Bouzey* est trop récente pour que nous ayons à rappeler les désastres qu'elle a occasionnés ; on sait que près de cent personnes ont trouvé la mort dans cette catastrophe.

Dès sa mise en service, la digue avait subi dans sa partie médiane un mouvement d'une certaine gravité. Le massif du barrage s'était déplacé tout entier vers l'aval, sans déversement, suivant une courbe à peu près régulière de 120 mètres de longueur et de 0 m. 30 de flèche, et cette déformation avait occasionné de nombreuses fissures au centre et aux extrémités de la courbe ainsi que dans le terrain de fondation.

C'est à la mauvaise qualité de ce terrain que l'accident fut attribué et, à la suite, d'importants travaux de consolidation, ayant essentiellement pour but d'abaisser et d'élargir considérablement l'assiette du barrage, furent exécutés en 1888-89. Sur la figure 63 (page 450), les maçonneries nouvelles sont couvertes de hachures inclinées à droite tandis que les surfaces couverte de hachures inclinées à gauche représentent les maçonneries primitives.

Depuis l'exécution de ces travaux, le réservoir avait pu être rempli à sa retenue normale sans qu'aucun mouvement se fût produit. Le 27 avril 1895, le barrage se rompit à peu

Digitized by Google

près au niveau de la partie supérieure du renforcement opéré en 1888-89 et fut emporté sur une longueur de 170 mètres environ.

L'accident s'est donc produit à peu près dans la même forme que celui du barrage de l'Habra. Quant à la cause, d'aucuns ont voulu la trouver dans les efforts à la traction qui se seraient produits sur le parement d'amont lorsque le barrage était en pleine charge; M. l'inspecteur général Maurice Lévy, avec l'autorité qui s'attache à son nom, a soutenu que la rupture s'était produite par glissement. Il a exposé ses idées sur ce point, tant dans un mémoire communiqué à l'Académie des Sciences et publié aux *Comptes rendus* de la séance du 5 août 1895 que dans une brochure sans date, sortant de l'imprimerie Gauthier-Villars et fils, intitulée *Observations sur la catastrophe de Bouzey*. Nous ne pouvons que renvoyer le lecteur à ces publications.

197. Conditions de stabilité aujourd'hui exigées pour un mur de réservoir. — Dans son mémoire à l'Académie des Sciences précité, M. Maurice Lévy a montré qu'une nouvelle condition de résistance devait être imposée aux barrages en maçonnerie établis dans le système adopté jusqu'ici. Il ne suffit pas que la maçonnerie, sur le parement d'amont, ne supporte pas d'efforts de traction par suite desquels les joints tendent à s'ouvrir et des fissures à se former. Il faut encore arriver à empêcher l'eau de pénétrer dans un joint ou dans une fissure, même si, par des effets calorifiques ou autres, la fissure est formée. La condition théorique nécessaire et suffisante pour cela, c'est que la pression élastique à l'extrémité amont d'un joint soit supérieure à la pression de l'eau du réservoir en ce point. De cette façon l'eau, au lieu de tendre à pénétrer dans la maçonnerie, tendra toujours à en être chassée.

En définitive, pour que la stabilité d'un mur (digue ou barrage en maçonnerie) de réservoir soit complètement

Digitized by Google

assurée, on considère aujourd'hui comme indispensable que les conditions ci-après soient remplies :

1° Le travail élastique, développé dans le parement amont ou intérieur, doit toujours s'exercer à la compression et être compris entre une valeur un peu supérieure à la pression hydrostatique, lorsque le réservoir est complètement rempli, et une valeur un peu inférieure à la limite de sécurité convenue C′, lorsque le réservoir est vide ;

2° Le travail à la compression, sur le parement aval ou extérieur, ne doit pas dépasser la limite de sécurité convenue C, généralement très inférieure à C′, lorsque le réservoir est à pleins bords [1].

Et ici une réflexion s'impose, qui s'appliquerait sans doute, avec tout autant de raison, à d'autres genres d'ouvrages. C'est aux accidents survenus que sont dus les perfectionnements successivement introduits dans la construction des digues de réservoir en maçonnerie.

C'est seulement à la suite de mouvements inquiétants qui s'étaient manifestés, notamment dans les barrages de Chazilly et de Grosbois, qu'on a été conduit à la considération capitale du maximum de compression à imposer à la maçonnerie ou au sol de fondation.

Après la rupture du barrage de l'Habra, on s'est imposé la condition de ne laisser en aucun cas, sur aucun point, la maçonnerie travailler à l'extension.

Depuis la catastrophe de Bouzey, on considère comme indispensable que le travail à la compression développé sur le parement amont soit, en chaque point, supérieur à la pression hydrostatique correspondante, lorsque le réservoir est plein.

Fasse le ciel que quelque nouveau désastre ne vienne pas un jour démontrer la nécessité de perfectionnements nouveaux à introduire dans la construction des digues de réservoir en maçonnerie !

1. D'après M. J. Résal, C′ peut dépasser C de 50 0/0 et même de 100 0/0.

Digitized by Google

198. Détermination du profil transversal d'un barrage de réservoir en maçonnerie. — La méthode actuellement recommandée pour déterminer le profil transversal d'un barrage de réservoir est exposée en détail dans un autre cours [1]; nous nous bornerons à en rappeler brièvement les traits essentiels.

Disons d'abord que le profil est déterminé *pour une tranche isolée de 1 mètre de longueur*, c'est-à-dire abstraction faite du supplément de résistance qui peut provenir de la forme en plan du barrage et de son encastrement dans les flancs de la vallée.

En second lieu et bien qu'une certaine *revanche* soit toujours ménagée entre le sommet du barrage et le niveau le plus élevé possible des eaux dans le réservoir, on suppose celui-ci rempli à pleins bords, jusqu'au niveau du sommet du mur.

D'autre part, si dans un profil donné on considère une section horizontale, il est aisé de déterminer en grandeur et en position la résultante du poids de la maçonnerie et, le cas échéant, de la pression de l'eau sur la partie supérieure du parement intérieur; on peut alors calculer l'effort exercé sur la maçonnerie en chaque point de la section et notamment aux deux points extrêmes correspondant, l'un au parement extérieur (parement aval, parement sec), l'autre au parement intérieur (parement amont, parement mouillé).

Cela posé, pour déterminer le profil transversal à donner à un barrage on procède par tranches horizontales successives dans chacune desquelles on calcule l'épaisseur du mur d'après les considérations suivantes. On suppose d'abord le parement amont vertical.

La largeur du mur au sommet étant une des données du problème, on doit la maintenir invariable jusqu'au niveau où

1. Encyclopédie des Travaux publics; Cours de l'école des Ponts et Chaussées; *Stabilité des constructions*, par M. J. Résal, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Chapitre cinquième, § 4, page. 574.

Digitized by Google

le travail en pleine charge, sur le parement intérieur, est précisément égal à la pression hydrostatique.

A partir de ce point, l'épaisseur du mur dans chaque tranche est déterminée par la condition que le travail en pleine charge, sur le parement intérieur, demeure toujours égal à la pression hydrostatique.

Un moment viendra où le travail sur le parement extérieur atteindra la limite de sécurité convenue C. Au-dessous du niveau correspondant, les épaissseurs devront être déterminées par la condition que le travail sur le parement extérieur reste toujours égal à C.

Enfin, dans la partie inférieure du barrage, il peut se faire que le travail sur le parement intérieur atteigne, dans le cas du réservoir vide, la limite de sécurité C′ qu'on est convenu de ne pas dépasser pour le parement intérieur, dans ce cas. Au-dessous du niveau correspondant, il convient de donner du fruit au parement intérieur et de déterminer les épaisseurs de façon à maintenir invariablement égales à C et C′ les valeurs du travail sur l'un et l'autre parement, suivant que le réservoir est plein ou vide.

On obtient ainsi une ébauche de profil ; mais on conçoit aisément qu'il soit indispensable d'en retoucher les contours dans l'intérêt soit de l'esthétique soit de la facilité de la construction ou de l'entretien.

Le profil, après cette retouche, ne pourra d'ailleurs être admis qu'autant qu'il satisfera pleinement aux conditions énoncées plus haut (page 468), d'où nécessité d'une vérification à laquelle il sera procédé par tranches horizontales.

Dans le cas où ces conditions ne seraient pas exactement remplies, une nouvelle retouche serait nécessaire, suivie d'une nouvelle vérification, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'on soit arrivé à un profil absolument satisfaisant.

199. Largeur du couronnement. Revanche. — Nous avons dit plus haut, à propos de la détermination du profil

Digitized by Google

transversal d'un barrage de réservoir en maçonnerie, que la largeur au sommet était une des données du problème. Cette largeur doit être suffisante pour qu'une voiture au moins puisse circuler. C'est un avantage dont il serait regrettable de se priver, mais qui ne saurait être obtenu sans une largeur de 4 mètres environ, parapets compris. A la vérité, une partie de cette largeur peut être en encorbellement sur consoles, comme au barrage du Gouffre-d'Enfer ; elle peut même être considérablement augmentée en plaçant la voie charretière sur arcades, en partie, comme au barrage de la Mouche, ou en totalité, comme au barrage du Virnwy.

On trouvera dans le tableau ci-après, pour un certain nombre de barrages construits en France : 1° la largeur au sommet, largeur effective du massif de maçonnerie, tous encorbellements exclus ; 2° la hauteur du couronnement au-dessus du niveau de la retenue, non compris celle des parapets, bien entendu. On sait que cette revanche doit être en rapport avec la hauteur des vagues qui peuvent se former sur le réservoir et que cette dernière dépend essentiellement de circonstances locales, notamment de l'orientation de la vallée par rapport à la direction des vents régnants. Le niveau que nous avons pris pour celui de la retenue est le plus élevé qui soit admis dans le réservoir. C'est ainsi qu'au réservoir du Gouffre-d'Enfer, la retenue permanente est fixée à 7 m. 50 en contre-bas du couronnement de la digue ; mais, comme on admet que le niveau des eaux peut être momentanément relevé de 5 m. 50, c'est la revanche de 2 mètres que nous avons fait figurer au tableau.

Digitized by Google

DÉSIGNATION des barrages	LARGEUR du couronnement	HAUTEUR au-dessus de la retenue	OBSERVATIONS
Barr. du Gouffre-d'Enfer.	3m00	2m00 (1)	(1) Par rapport à la retenue *permanente*, cette revanche est de 7 m. 50.
— de la Rive *ou* du Ban	4 90	1 90	
— du Ternay.	3 99	2 65 (2)	(2) Etait primitivement de 3 m. 65 ; le niveau de la retenue a été relevé de 1 m. après coup.
— de Bouzey	4 00	0 60	
— de Pont.	5 00	2 35	
— de la Mouche . . .	3 50	2 55	
— du Chartrain . . .	4 00	0 75 (3)	(3) Est, normalement, de 3 m.

En définitive, une largeur au sommet de 3 mètres est un minimum et on ne saurait conseiller une revanche de moins de 2 mètres.

200. Poids spécifique des maçonneries. — Un des principaux éléments de la détermination de la forme d'un mur de réservoir est le poids spécifique des maçonneries. Pendant longtemps, pour la commodité des calculs, on s'est contenté d'une approximation en évaluant ce poids spécifique uniformément à 2.000 kilogrammes; mais c'est là un chiffre qui peut différer très notablement de la réalité. C'est ainsi qu'il résulte d'expériences et d'observations directes, faites par M. Bouvier au barrage du Ternay, que le poids spécifique de la maçonnerie en moellons granitiques s'élevait en réalité à 2.360 kilogrammes. Avec des moellons en calcaire peu compact, il peut, d'après M. Pochet, tomber à 2.150.

Les murs des réservoirs devant résister à la poussée de l'eau par leur poids, on a fait remarquer que plus les matériaux seront denses, plus l'épaisseur du mur pourra être faible, mais aussi, plus la base sera chargée. Il est vrai que les matériaux les plus denses sont aussi, en général, les plus résistants.

Digitized by Google

Toutefois, la question du choix des matériaux à employer dans un ouvrage de ce genre n'a pas un grand intérêt, car des motifs d'économie conduisent presque toujours à utiliser ceux qui se trouvent à proximité.

Dans chaque cas particulier, il faudra donc déterminer directement le poids spécifique des maçonneries faites avec les moellons, le sable et la chaux ou le ciment qui devront être employés en exécution.

201. Résistance des maçonneries. — La compression limite à faire supporter aux maçonneries, la *limite de sécurité*, varie avec la nature des matériaux employés, cela est évident; il serait également rationnel de la faire varier avec la perfection de l'exécution de la maçonnerie, s'il était possible de tenir compte d'un élément de cette nature. Dans tous les cas, la limite qu'on s'impose est très inférieure à la résistance réelle et, à vrai dire, c'est de là que vient la sécurité. C'est ainsi que les limites adoptées pour le barrage du Gouffre-d'Enfer et ceux qui l'ont immédiatement suivi ont été, en réalité, on a tout lieu de le croire, notablement dépassées, et cependant il n'en est résulté aucun inconvénient. Au barrage du Ternay, le travail à la compression, calculé par les formules de M. Delocre, ne devait pas dépasser 7 kilogrammes par centimètre carré ; M. Bouvier a montré que, à raison du relèvement du plan d'eau de 1 mètre et aussi des corrections à faire subir aux formules, il s'élève, en réalité, à 12 kilogrammes ; aucun accident ne s'est produit.

Ce chiffre de 12 kilogrammes est celui que certains ingénieurs proposent d'adopter comme maximum, et leur opinion a été sanctionnée par le Ve Congrès international de navigation intérieure réuni à Paris en 1892, lequel a adopté la conclusion suivante : « Avec de bons matériaux, on peut, sans « imprudence, faire travailler, les maçonneries à la compres- « sion jusqu'à une limite de 12 kilogrammes par centimètre « carré ».

Digitized by Google

Il est bien entendu qu'il s'agit ici de maçonneries exécutées avec le plus grand soin, en matériaux (moellons et sable) de première qualité et avec une chaux éminemment hydraulique. Cela suppose, en outre, que les maçonneries seront progressivement mises en charge et que, lorsque cette charge atteindra son maximum, les maçonneries inférieures auront déjà deux ou trois ans d'âge. M. Bouvier a émis l'opinion que des maçonneries de cette nature, lorsqu'elles ont acquis leur dureté définitive, c'est-à-dire au bout d'une *dizaine d'années*, peuvent, sans aucun danger, porter jusqu'à *14* kilogrammes par centimètre carré.

Quelle que puisse être la valeur de l'opinion de constructeurs aussi autorisés, nous estimons qu'il serait contraire à la prudence, *et la prudence est d'absolue rigueur en matière de barrages de réservoirs*, de ne pas adopter une limite de sécurité très éloignée de la résistance effective de la maçonnerie, cette résistance étant, au préalable, déterminée aussi exactement que possible dans chaque espèce.

Nous avons déjà dit que la limite de sécurité pour le parement amont (réservoir vide) pouvait être notablement plus élevée que pour le parement aval (réservoir plein) ; cela se conçoit aisément, attendu que quand le réservoir est vide, aucune complication n'est à redouter non plus qu'aucune éventualité d'un accident grave.

202. Altération des maçonneries au contact de l'eau. — Nous touchons ici à un point extrêmement délicat et de nature à inspirer de sérieuses appréhensions sur l'avenir des barrages en maçonnerie des réservoirs.

La maçonnerie n'est rien moins qu'imperméable ; sa porosité ne saurait être contestée. Même en l'absence de toute solution de continuité *apparente*, cette porosité s'affirme par les nombreux suintements que l'on constate sur le parement aval des barrages, où l'effet de ces suintements se manifeste d'une façon particulièrement inquiétante par la formation de dépôts

Digitized by Google

calcaires. Ces dépôts témoignent de l'appauvrissement des mortiers et, au fur et à mesure de cet appauvrissement, le poids spécifique et surtout la résistance des maçonneries diminuent. Avec des matériaux médiocres une altération rapide de la maçonnerie est à redouter ; elle peut être surtout hâtée par la présence de fissures. Ces dernières peuvent avoir, en outre, le grave inconvénient d'introduire des forces nouvelles dans la masse. Mais, alors même qu'elles seraient dirigées de manière à laisser intactes les hypothèses qui servent de bases aux calculs (c'est le cas des fissures verticales), elles n'en seraient pas moins un élément de destruction en précipitant l'altération des maçonneries. Toutes les précautions doivent donc être prises, lors de la construction des barrages, pour éviter, autant que possible, qu'aucune solution de continuité vienne à se produire.

203. Précautions à prendre dans la construction des barrages. — Le principe universellement admis aujourd'hui est celui de l'homogénéité de la construction, toute inégalité de tassement ou de résistance pouvant amener des disjonctions, des fissures. Cette considération capitale a conduit à employer, d'une manière à peu près exclusive, la maçonnerie ordinaire faite comme M. Guillemain en exprime le désir [1] « avec mêmes moellons, même chaux et même sable, nous « dirions aussi volontiers, avec mêmes maçons. »

Ainsi que le fait encore observer M. Guillemain, le besoin de cette homogénéité se fait sentir partout, jusque dans les fondations. Il est bien entendu, tout d'abord, que la fondation doit être entièrement sur le rocher compact, incompressible et imperméable, sans lacune comme celle qui a causé le désastre de Puentès ; mais en outre, il faut que l'emplacement soit préparé de manière à éviter l'incorporation à la maçonnerie de masses qui pourraient ne pas éprouver les mêmes

1. *Cours de navigation intérieure*, tome II, page 355.

Digitized by Google

tassements qu'elle et présenter une résistance très différente. Ainsi la disposition figurée ci-contre (fig. 73) serait, à ce point de vue, tout à fait défectueuse, bien que séduisante au premier abord comme économique. Si au-dessous d'une section

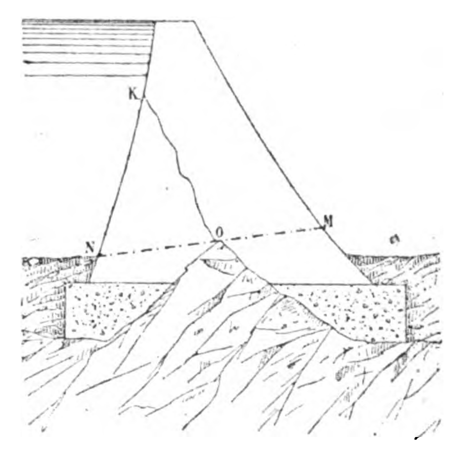


Fig. 73.

MON, les maçonneries peuvent se dérober sous la charge à la faveur d'une réduction de volume que ne subit pas le rocher naturel, il est évident que les maçonneries s'écraseront en O. Et, si elles se chargent trop sur cette pointe, une autre conséquence peut se produire, l'ouverture d'une fissure suivant une ligne OK variable avec les forces en jeu, avec la cohésion des maçonneries, etc...

Sans contester ce que le principe de l'homogénéité dans la maçonnerie des barrages de réservoirs a de satisfaisant pour l'esprit, nous ne pouvons pas ne pas constater que les anciens barrages espagnols ne remplissent pas cette condition ; ils sont parementés en pierre de taille ; et cependant quelques-uns ont près de trois siècles et demi d'existence.

On pourrait être tenté d'attribuer leur longévité à leur masse, généralement énorme ; mais, d'abord, les plus anciens, les barrages d'Almanza et d'Elche, ne sont pas les plus massifs, ne sont même pas massifs du tout. D'autre part, la grande

Digitized by Google

épaisseur de certains d'entre eux n'empêche pas que la maçonnerie y soit soumise à des efforts considérables.

Nous serions disposé à croire qu'un parement en pierres de taille très soigné, avec des joints peu nombreux et très minces que les matières en suspension dans l'eau achèvent d'obturer d'une façon absolue en peu de temps, peut opposer un obstacle très efficace à la pénétration de l'eau dans la maçonnerie qui constitue le corps du barrage ; or c'est en définitive cette pénétration qui est la cause de destruction par excellence. C'est ainsi que l'on a constaté, en démolissant certains ouvrages à la mer anciens, qu'un parement en pierre de taille avait empêché la décomposition des mortiers de la maçonnerie de massif, en la préservant du contact de l'eau de mer.

En se plaçant exclusivement au point de vue de la conservation des maçonneries et, en dehors de toute pensée d'y trouver un supplément de résistance, la forme courbe en plan a été recommandée comme permettant seule d'éviter les fissures verticales qui se produisent fatalement dans les barrages rectilignes, par suite des variations de température. Il s'en faut cependant de beaucoup que cette disposition soit universellement adoptée.

Dans la brochure déjà citée, intitulée *Observations sur la catastrophe de Bouzey*, à la page 30, M. l'inspecteur général Maurice Lévy donne des renseignements statistiques fort intéressants relevés sur 50 barrages en maçonnerie. Sur ces 50 barrages, 21 sont établis en courbe et 29 ont un tracé rectiligne.

Parmi les premiers, 3 seulement ont une longueur supérieure à 200 mètres ; la longueur maximum ne dépasse pas 235 mètres, la longueur moyenne 127.

Parmi les derniers, 12 ont une longueur supérieure à 200 mètres ; la longueur maximum atteint 2.684 mètres, la longueur moyenne 348.

D'une façon générale, la forme courbe en plan est adoptée

Digitized by Google

pour les barrages de faible longueur et le tracé rectiligne pour les barrages d'un développement plus important. Il faut reconnaître que le raisonnement est ici d'accord avec la statistique ; on ne peut, évidemment, trouver un appui efficace sur les flancs d'une vallée, en donnant au barrage la forme de voûte, que si ces flancs sont suffisamment rapprochés.

La même statistique établit encore (page 32) que parmi les barrages construits en courbe, en France, deux, ceux du Ternay et de Pont présentent des fissures verticales. La forme courbe, même pour des ouvrages de longueur modérée, ne présenterait donc pas de garanties absolues à ce point de vue.

Une excellente précaution paraît résider dans la mise en charge progressive des maçonneries. Non seulement, il convient de ne leur imposer la charge maximum qu'elles doivent supporter que lorsqu'elles ont atteint leur solidité à peu près complète, mais il paraît utile que cette charge s'établisse aussi lentement que possible, de façon que ses effets ne se fassent sentir que graduellement.

Si tous les efforts de l'ingénieur, lors de la construction d'un barrage, doivent tendre à empêcher les filtrations et, dans ce but, à prévenir toutes les solutions de continuité, même les plus minimes, il est essentiel que cet objectif ne soit jamais perdu de vue dans l'entretien et, dans cet ordre d'idées, on ne saurait trop recommander l'exécution de rejointoiements minutieux ou d'enduits et les applications de goudron sur le parement amont des barrages ; on a également essayé des revêtements en ciment armé.

Lors du Ve Congrès international de navigation intérieure, ce point a été considéré comme assez important pour motiver une résolution spéciale ainsi conçue : « Il convient d'appeler « l'attention des ingénieurs sur les mesures à prendre pour « éviter les infiltrations dans les maçonneries et pour en « atténuer les effets, au cours de l'exploitation. »

204. Dispositions ayant pour objet de soustraire les

Digitized by Google

éléments essentiels des barrages à l'altération résultant du contact de l'eau. — Dans les divers réservoirs avec barrage en maçonnerie que nous avons passés en revue, c'est le mur tout entier qui doit fournir à la fois la résistance à la pression de l'eau et l'étanchéité. Pour satisfaire à cette dernière condition, il est en contact direct et permanent avec l'eau, par conséquent exposé à toutes les altérations qui peuvent résulter de ce contact même et diminuer sa résistance. Il y a là, à coup sûr, quelque chose de peu satisfaisant au point de vue philosophique, et nous pourrions reproduire ici les considérations que nous avons développées plus haut à propos des ponts-canaux en tôle (page 162).

Aussi devons-nous signaler, comme étant du plus haut intérêt, les dispositions proposées pour parer à ce danger et qui ont été exposées notamment : 1° dans le mémoire déjà cité de M. l'inspecteur général Maurice Lévy, communiqué à l'Académie des Sciences et publié aux *Comptes rendus* de la séance du 5 août 1805; 2° dans une note de M. l'ingénieur Le Rond, insérée dans le cahier des *Annales des Ponts et Chaussées* qui porte la date de juillet 1895, mais qui n'a paru que postérieurement au 5 août de la même année; 3° dans un mémoire de M. l'ingénieur en chef Pelletreau, publié dans les *Annales des Ponts et Chaussées* de 1897 (1er trimestre).

Un premier dispositif est décrit comme il suit dans le mémoire de M. Maurice Lévy.

« La face amont du mur, au lieu d'être lisse, serait munie « d'une série de pilastres à bases carrées d'environ 2 mètres « de côté et espacés entre eux également de 2 mètres.

« Un mur continu, que j'appellerai le *mur de garde* du « barrage, serait accolé aux faces amont de ces pilastres, de « sorte que les intervalles compris entre les pilastres d'une « part, le mur de garde et le massif principal du barrage « d'autre part, formeraient des puits carrés d'environ 2 mè- « tres de côté, régnant sur toute la hauteur du barrage. Les « angles de ces puits seraient arrondis, de façon à leur don-

« ner une forme circulaire, qui augmenterait la connexion « entre le mur de garde et le massif du barrage.

« Supposons qu'une fissure quelconque vienne à se pro- « duire ; si elle ne dépasse pas la largeur d'un pilastre, soit « 2 mètres, elle n'offre aucun danger ; dès qu'elle dépasse « cette dimension au plus, elle débouche forcément dans un « ou plusieurs puits, de sorte que l'eau qui y pénètre, au lieu « d'y produire une pression, s'écoulera dans ces puits. Les « fissures, quelles qu'elles soient, deviennent ainsi inoffen- « sives.

« Les eaux amenées de la sorte dans les puits seraient « recueillies par un drain longeant tout le barrage, puis éva- « cuées par le canal de vidange du réservoir. Par le volume « d'eau que donnerait ce drain, on serait constamment averti « de ce qui se passe dans le barrage. Dès que ce volume « atteindrait une valeur appréciable, on visiterait les puits et « l'on en boucherait les fissures.

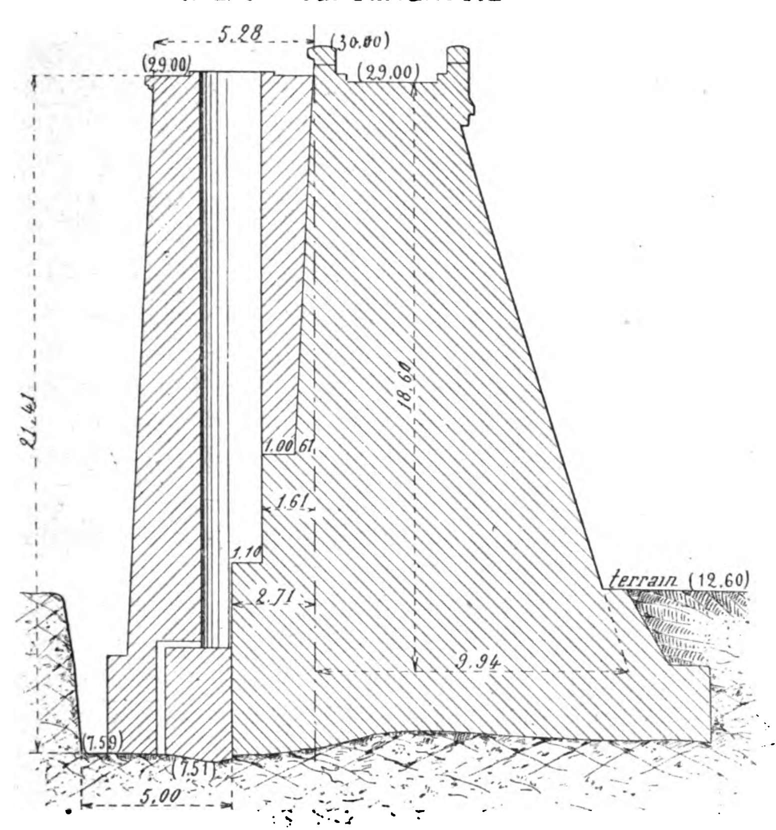
En résumé : un mur de garde ou *masque*, seul en contact avec l'eau et chargé d'assurer l'étanchéité, indépendant du corps même de l'ouvrage chargé d'assurer la résistance ; les filtrations arrêtées avant de pouvoir atteindre le corps de l'ouvrage ; toutes facilités données pour écouler les eaux provenant de ces filtrations, pour constater leur volume (d'où se déduit l'importance des fissures qui peuvent exister dans le masque) et pour faire à ce dernier les réparations nécessaires ; tels sont les termes de cette combinaison éminemment rationnelle, dont nous avonsdéjà fait ressortir (page 433) les avantages à propos d'une combinaison analogue adoptée pour la digue en gravier du réservoir du lac d'Orédon.

Les dispositions indiquées par M. Maurice Lévy ont été exactement appliquées à la consolidation du barrage du réservoir des Settons, au travers duquel se produisaient d'importantes filtrations. La planche XCIII montre [1] la position en plan

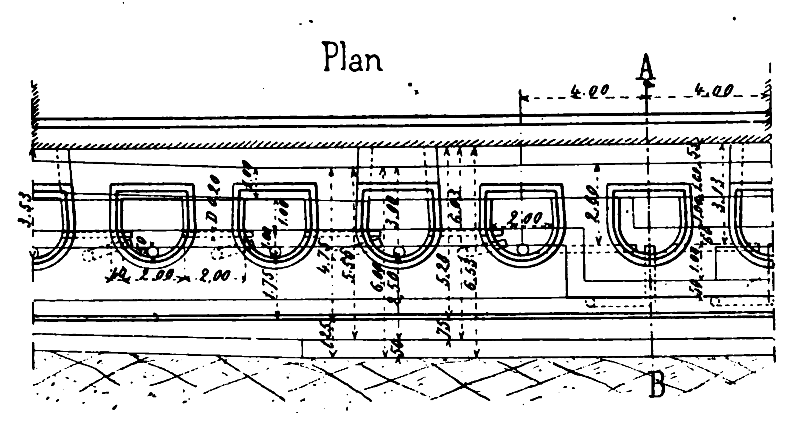
1. Sur le profil transversal suivant AB, les anciennes maçonneries sont indiquées par des hachures inclinées à droite, les nouvelles par des hachures inclinées à gauche.

Digitized by Google

Profil transversal suivant AB



Plan



Pl. XCIII. BARRAGE DES SETTONS. — MUR DE GARDE EN MAÇONNERIE

Digitized by Google

d'un certain nombre de puits et la coupe sur l'axe de l'un d'eux. Elle fait voir, en particulier, comment des tuyaux mettant en communication les puits successifs permettent de conduire, en dernière analyse, les eaux recueillies, à l'aqueduc de vidange du réservoir ; elle fait voir aussi comment les eaux qui s'infiltrent à travers la roche fissurée des fondations sont drainées et amenées dans les puits. La planche XCIV permet de se rendre compte des conditions dans lesquelles le béton armé a été, à titre d'essai, substitué à la maçonnerie sur une longueur de 8 mètres.

Le mur de garde des Settons n'a été mis en service que dans les premiers jours du mois de janvier 1904 et n'a été jusqu'ici soumis qu'à des charges d'eau réduites. On n'a donc encore aucune donnée positive sur les résultats obtenus.

Un second dispositif est également indiqué par M. Maurice Lévy dans son mémoire précité.

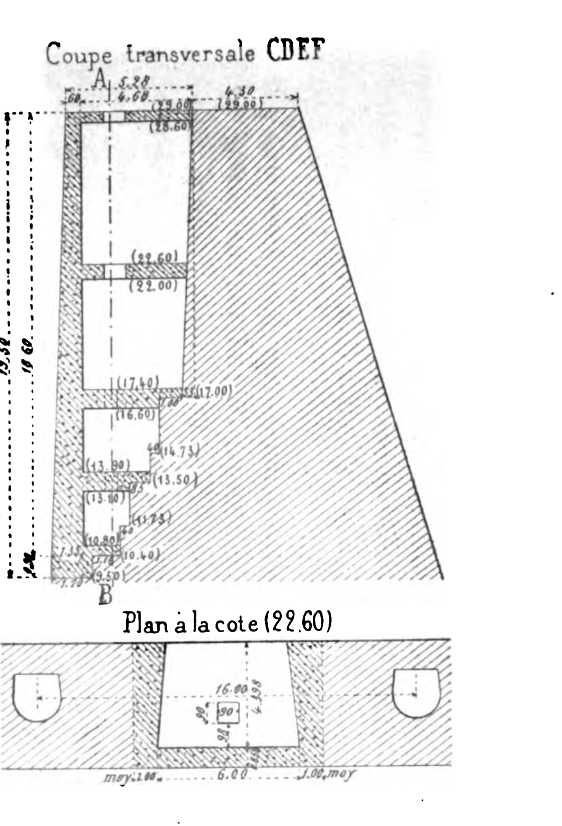
Après avoir fait ressortir la nécessité de chasser l'eau de la maçonnerie, non seulement à cause de la sous-pression, mais aussi à cause de la gelée ; après avoir montré que, en ce qui concerne les joints horizontaux, on aura satisfait à cette condition du moment que la pression sur le parement d'amont sera toujours supérieure à la pression hydrostatique, M. Maurice Lévy ajoute :

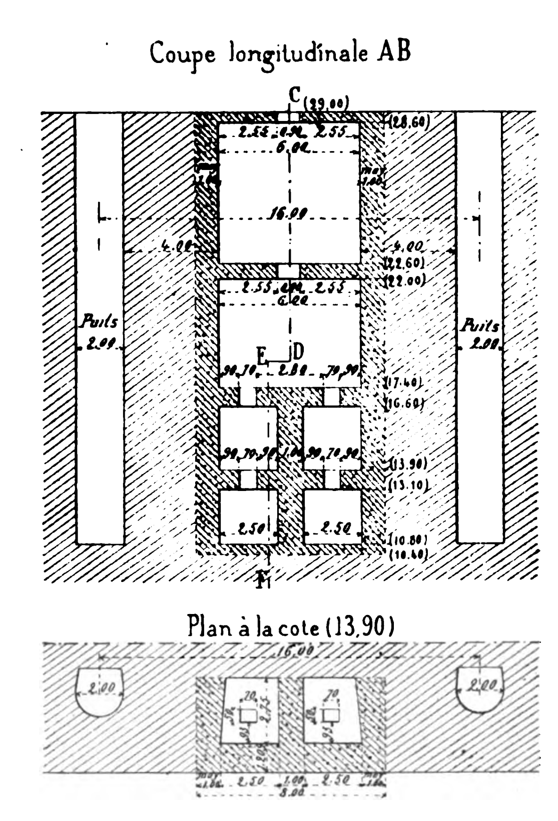
« Dans les fissures verticales, quoique, par elles-mêmes, « elles soient moins graves, il conviendrait que la même con- « dition fût remplie. Dans ce but, on pourrait constituer en « plan un barrage par une série de voûtes cylindriques à « génératrices verticales de 15 à 30 mètres de flèche, avec « contreforts aux extrémités de chaque voûte.

« La pression de l'eau contre les voûtes cylindriques ser- « rera les joints verticaux. Ce serrage, sauf les effets de la « température, remplira de lui-même la condition d'être supé- « rieur à la pression de l'eau.

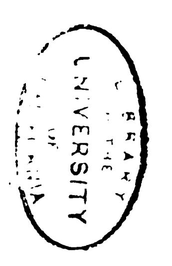
« Le dispositif en voûtes séparées par des contreforts a « d'ailleurs encore le double avantage :

Digitized by Google





Pl. XCIV. BARRAGE DES SETTONS. — MUR DE GARDE. — TRAVÉE EN BÉTON ARMÉ.


UNIVERSITY

Digitized by Google

« 1° De donner à l'ouvrage une grande liberté de dilatation « sous l'influence de la chaleur ;

« 2° Selon toute vraisemblance, de limiter une brèche qui « viendrait à se produire, à la voûte où elle se serait pro- « duite ».

M. Pelletreau préconise aussi les *barrages en voûtes*, barrages dont le trait caractéristique est que le corps de l'ouvrage, chargé de fournir la résistance, ne consiste plus en un mur continu, mais en des appuis discontinus formant de véritables piles. Un pont en maçonnerie, qu'on ferait tomber vers l'amont en lui donnant quartier, constituerait immédiatement un barrage en voûte.

Les piles devant avoir, dans la plupart des cas, une hauteur et une longueur très grandes par rapport à leur épaisseur, M. Pelletreau estime qu'elles devraient être contreventées par un certain nombre d'arcs en maçonnerie à axe horizontal jetés de l'une à l'autre. Il pense néanmoins qu'un ouvrage de ce genre procurerait souvent une réduction importante dans le cube des maçonneries, tout en donnant toutes les garanties possibles au point de vue de la stabilité. Il croit aussi, comme M. Maurice Lévy, que si un accident se produisait, il resterait localisé, n'atteindrait qu'une travée, et que les désastres provenant de la rupture en grand d'un mur de réservoir seraient ainsi prévenus.

Il est intéressant de constater que ces vues théoriques sont d'ores et déjà sanctionnées par l'expérience. Le barrage du réservoir du Rio-Grande dont nous avons donné plus haut (page 462) une description sommaire, n'est autre chose qu'un barrage en voûte à une seule travée. Malgré l'économie considérable réalisée dans sa construction, il s'est très bien comporté depuis 1888.

En définitive, nous n'hésitons pas à exprimer l'opinion qu'en matière de barrages de réservoirs en maçonnerie, l'avenir est aux dispositions ayant pour effet de soustraire à l'altération résultant du contact de l'eau les parties essentielles au point de vue de la stabilité.

Digitized by Google

205. Ouvrages accessoires. — En ce qui concerne les ouvrages qui visent l'admission de l'eau dans le réservoir, bassins de décantation et fossés de ceinture, il n'y a rien à ajouter à ce qui a été dit au sujet des réservoirs avec digue en terre.

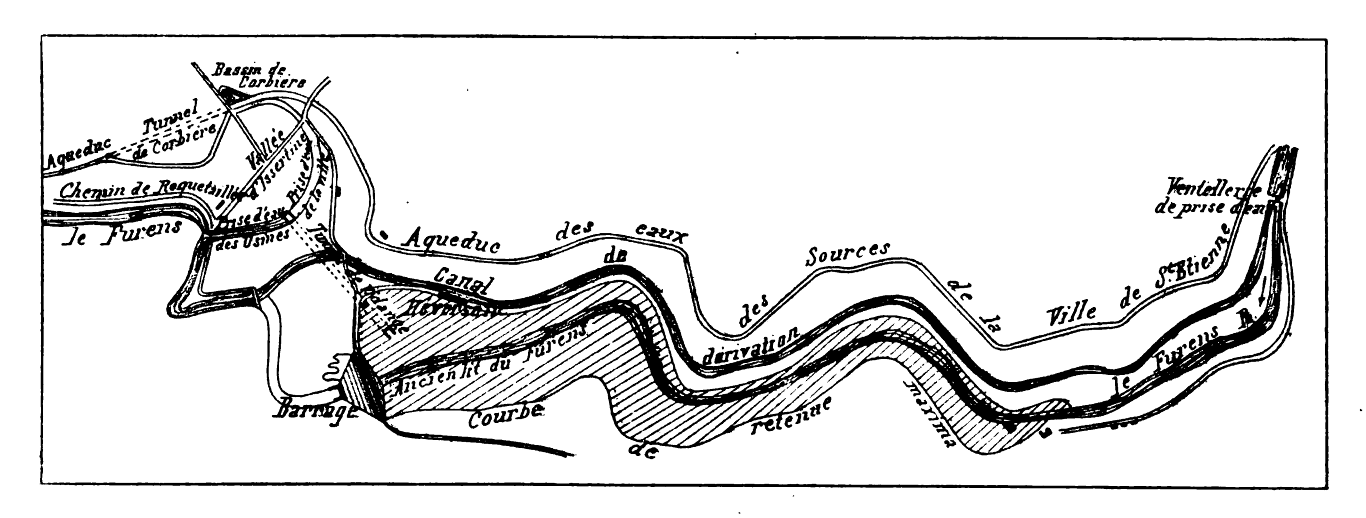
En ce qui concerne les ouvrages qui visent l'évacuation des eaux du réservoir, déversoirs, prises d'eau, bonde de fond, il y a lieu d'insister encore sur la nécessité de donner à ces ouvrages une puissance de débit suffisante pour prévenir toute élévation excessive et anormale du niveau de l'eau dans le réservoir. Une digue en terre surmontée, avons-nous dit, doit être considérée comme perdue. Il n'en est pas tout à fait de même pour les barrages en maçonnerie et nous avons vu que quelques-uns, construits, à la vérité, en conséquence, font déversoir sur tout ou partie de leur longueur ; mais, une surélévation excessive et anormale du niveau de l'eau dans le réservoir peut avoir pour conséquence d'augmenter considérablement les efforts de compression auxquels la maçonnerie est soumise ; elle peut aussi faire travailler certaines parties à l'extension ; à ce double titre, elle constitue donc un sérieux péril qu'il est de la plus élémentaire prudence de conjurer en donnant une importance suffisante aux ouvrages d'évacuation.

Ce que nous avons dit de l'emplacement et de la disposition de ces ouvrages, à propos des digues en terre, s'applique presque sans changement aux barrages en maçonnerie. On fera sagement, si la chose est possible, en établissant déversoir, prise d'eau, bonde de fond même, complètement en dehors du barrage.

A ce point de vue encore le réservoir du Gouffre-d'Enfer, dont la planche XCV (page 486) donne le plan d'ensemble, peut être cité. La vidange s'opère par un tunnel de 185 mètres de longueur, percé dans le contrefort rocheux de rive droite auquel s'appuie le barrage, mesurant 2 mètres de hauteur sur 1 m. 80 de largeur et débouchant dans le réservoir à 8 mètres environ au-dessus du fond. Ce tunnel renferme trois

Digitized by Google

PLAN D'ENSEMBLE



PL. XCV. RÉSERVOIR DU GOUFFRE-D'ENFER

Digitized by Google

conduites en fonte qui traversent, à leur origine, un bouchon en maçonnerie de 11 mètres d'épaisseur ; elles sont munies, à l'amont de valves qui se manœuvrent du bord du réservoir et à l'aval d'un double jeu de robinets.

Un tunnel spécial FG, placé directement au-dessus du premier EH (fig. 74), sert à évacuer la tranche d'eau de 5 m. 50 de hauteur (son volume est de 400.000 mètres cubes) comprise entre la retenue permanente et la retenue maximum ; enfin, un déversoir de 20 mètres de longueur, dont la crête est arasée au niveau de la retenue maximum, a été établi aussi sur la rive droite, à une certaine distance en amont des tunnels. Le déversoir et le tunnel FG envoient les eaux auxquelles ils donnent passage dans le canal de dérivation du Furens, établi sur la rive droite du réservoir.

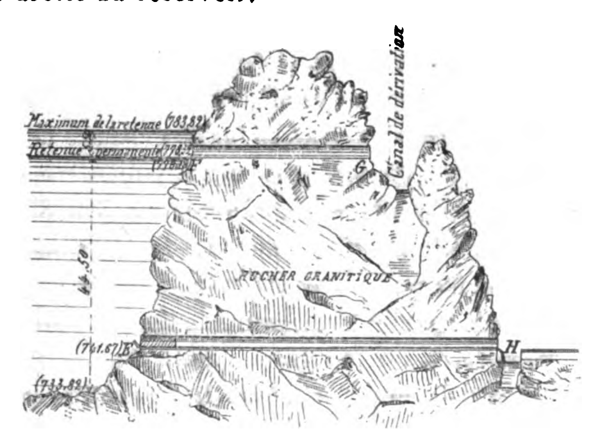


Fig. 74.

Comme spécimen des dispositions qui peuvent être adoptées dans le cas où les prises d'eau ne sont pas indépendantes du barrage, nous citerons le réservoir de la Mouche. Les prises d'eau sont réunies dans une demi-tour accolée au parement amont du barrage (pl. XCVI, page 489), ayant extérieurement la forme d'un demi-décagone régulier de 3 m. 15 d'apothème et évidée intérieurement suivant un demi-cercle de 1 m. 15 de rayon.

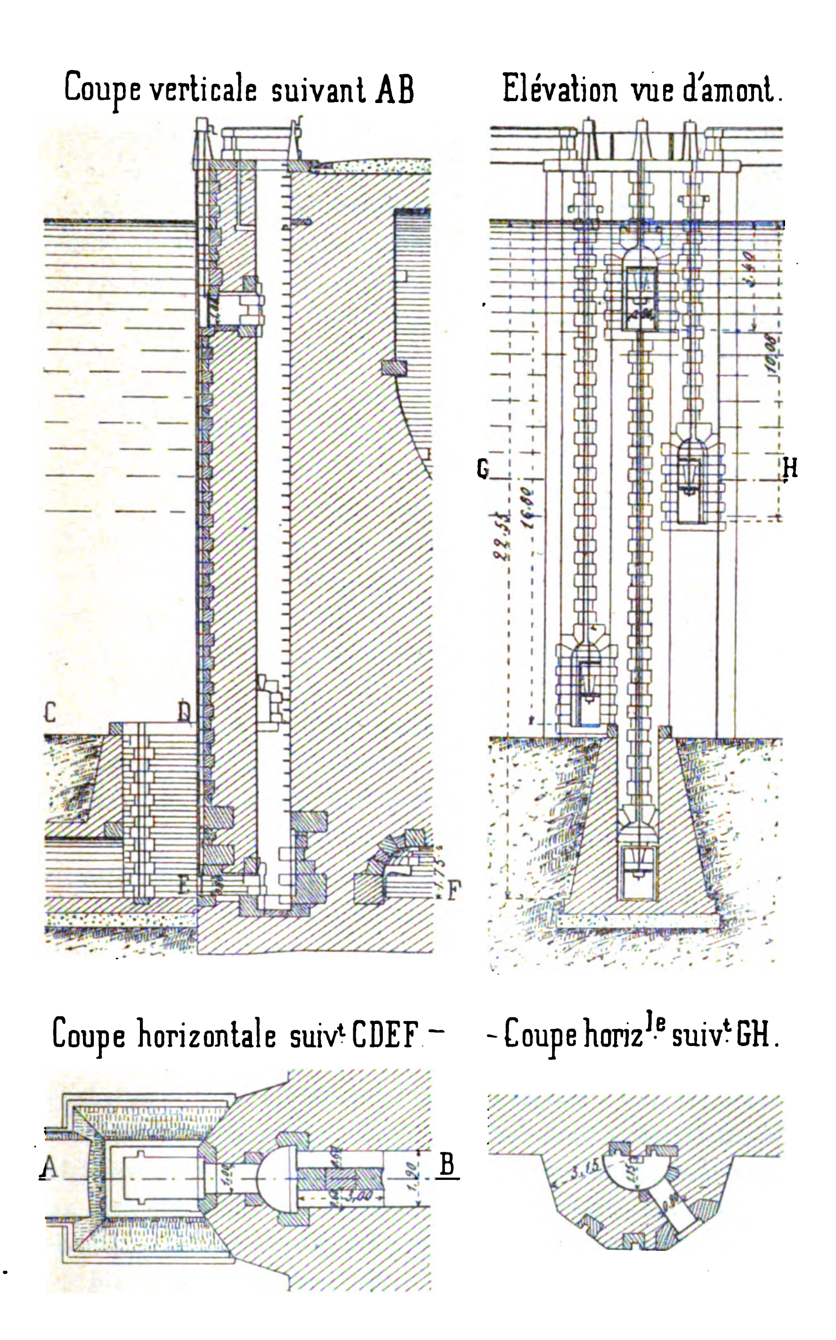
Digitized by Google

Dans les faces extérieures de la demi-tour sont pratiqués des orifices munis de vannes, au nombre de quatre, ayant leur seuil respectivement à 3 m. 40, 10 m. 03, 16 m. 80, et 22 m. 55 au-dessous de la retenue et établissant la communication entre le réservoir et le puits intérieur. En outre, la face plane de ce puits porte deux vannes de garde placées au niveau de l'aqueduc de fuite et permettant d'établir ou d'intercepter la communication avec le dit aqueduc.

Il y a donc double garde, de sorte que si un accident arrivait à une vanne extérieure ou si un corps étranger empêchait sa fermeture, on pourrait néanmoins continuer le service avec les seules vannes intérieures jusqu'à la prochaine vidange du réservoir. La double garde présente encore l'avantage de permettre de disposer du niveau de l'eau à l'intérieur de la tour et d'atténuer ainsi, autant qu'on le veut, les effets de la chute, dans le puits, de l'eau écoulée par les orifices pratiqués dans les faces extérieures de la demi-tour. Ces orifices ne doivent, d'ailleurs, être utilisés que successivement, au fur et à mesure de l'abaissement de la retenue, de sorte qu'on n'a jamais à les ouvrir sous de fortes pressions. Ils ont uniformément 0 m. 80 de largeur ; la hauteur est de 1 mètre pour les trois orifices supérieurs et de 0 m. 80 pour le quatrième. Les vannes qui les ferment, actionnées par l'intermédiaire de tiges métalliques au moyen de crics placés sur le couronnement du barrage, sont de simples plaques de fer placées dans des glissières rabotées de même métal ; leur épaisseur varie de 20 à 45 millimètres. Les orifices fermés par les vannes de garde ont 0 m. 60 de large sur 0 m. 67 de haut.

Pour empêcher que les eaux dépassent le niveau maximum assigné à la retenue, le réservoir de la Mouche est muni d'ouvrages régulateurs qui comprennent un déversoir de superficie de 30 mètres de longueur et un vannage de décharge formé de trois vannes de 1 m. 25 de largeur libre et de 1 m. 25 de hauteur. Sous l'influence d'une surélévation de niveau accidentelle de 0 m. 20, ces ouvrages peuvent écouler un débit de 17 mc. 462

Digitized by Google



Pl. XCVI. — DEMI-TOUR DES PRISES D'EAU DU BARRAGE DE LA MOUCHE

Digitized by Google

à la seconde ; ils sont prolongés par un canal de décharge maçonné conduisant les eaux dans le thalweg de la vallée.

206. Dévasement des réservoirs. — Nous avons signalé déjà le danger d'envasement des réservoirs et nous avons indiqué, comme dispositions propres à prévenir ce danger, l'établissement de bassins de décantation, où les eaux sont clarifiées avant d'être emmagasinées, et celui de fossés de ceinture ou de dérivations qui permettent de détourner les eaux troubles. C'est, par exemple, cette dernière disposition qui a été adoptée au réservoir du Gouffre-d'Enfer, ainsi que le montre la planche XCV (page 486).

Si, par omission de précautions de ce genre ou nonobstant ces précautions, des dépôts se sont formés, la bonde de fond peut permettre de donner issue aux vases molles ou mises en suspension dans l'eau, et fournit ainsi un moyen de dévasement.

En Espagne, où les ravins barrés sont au plus haut degré torrentiels et où les dépôts se forment avec une telle rapidité que les réservoirs seraient promptement comblés, le curage s'opère d'une façon fort originale, au moyen d'une galerie de fond à laquelle on a donné le nom caractéristique de *desarenador*. Voici comment elle est disposée et manœuvrée au barrage d'Alicante.

La galerie de curage est placée dans le thalweg même et traverse en ligne droite, de l'amont à l'aval, le massif du barrage. Son orifice vers l'amont mesure 1 m. 80 de largeur pour 2 m. 70 de hauteur, puis la section va s'élargissant régulièrement dans tous les sens pour faciliter l'évacuation des vases. La galerie est entièrement construite en pierres de taille de fortes dimensions. L'ouverture d'amont est fermée au moyen d'une porte constituée par des pièces de bois juxtaposées et calfatées, que soutiennent en outre d'autres pièces de bois placées en arrière, de façon à former un ensemble suffisamment solide pour résister à la pression de l'eau.

Digitized by Google

L'expérience a montré qu'en quatre ans le fond du réservoir se remplit, sur 12 à 16 mètres d'épaisseur, de vase que la pression agglutine et rend assez compacte pour qu'elle se soutienne seule, pendant quelque temps au moins. On pénètre alors par l'aval dans le *desarenador* et on ruine la porte en affaiblissant les bois petit à petit, afin de ne pas provoquer dans la masse de mouvement compromettant pour la sécurité. Il a été constaté qu'au bout du délai ci-dessus indiqué de quatre ans l'opération était sans danger.

La porte enlevée, du haut du barrage on fait pénétrer une longue barre à mine dans les vases, au droit de l'orifice de la galerie, et on amène ainsi l'eau supérieure, avec sa pression, jusqu'aux couches inférieures qui ne sont plus soutenues par la porte. Celles-ci se mettent alors en mouvement, lentement d'abord, et en occupant toute la section de la galerie ; leur vitesse n'est pas supérieure à celle d'un homme marchant au pas ; puis, au bout de quelques secondes, l'eau se faisant jour, amène une débâcle générale et tout ce qui avoisine l'orifice est rapidement entraîné. Aussitôt que le réservoir est vide, on y met une brigade d'ouvriers qui jettent le reste des vases dans le lit du ruisseau, et le curage s'achève ainsi à bras d'homme, à l'aide des eaux pérennes.

267. Conclusion. — Ainsi que nous l'avons fait pour les réservoirs avec digue en terre, nous donnons ci-dessous, pour un certain nombre de réservoirs avec barrage en maçonnerie construits en France, la dépense de premier établissement et le prix de revient du mètre cube de capacité. C'est à dessein, et pour avoir des chiffres comparables, que nous avons choisi exclusivement des ouvrages construits dans la période d'une trentaine d'années qui s'étend de la construction du réservoir du Gouffre-d'Enfer à celle du réservoir du Chartrain.

La dépense de premier établissement, par mètre cube, varie de 0 fr. 34 à 0 fr. 99 avec une moyenne de 0 fr. 57.

Cette moyenne est élevée ; elle est certainement influencée

par les deux barrages du Gouffre-d'Enfer et du Pas-du-Riot dont la capacité, par suite de la configuration des lieux, est très restreinte. Pour les quatre autres réservoirs, la moyenne s'abaisse en effet à 0 fr. 50 environ. Au réservoir des Settons, établi de 1855 à 1858, où la digue a pu être construite dans une gorge étroite immédiatement à l'aval d'un large épanouissement de la vallée, on a réalisé une capacité de 22.000.000 de mètres cubes avec la faible dépense de 1.327.700 francs. Le prix de revient par mètre cube tombe à 0 fr. 06, c'est-à-dire juste au chiffre accusé plus haut pour le réservoir d'Assouan. Le rapprochement est curieux.

DÉSIGNATION des réservoirs	ÉPOQUE de construction	CAPACITÉ	DÉPENSE DE PREMIER ÉTABL.	
			totale	par mc.
		mc.	francs	francs
Rés. du Gouffre-d'Enfer .	1861-1866	1.600.000	1.590.000	0 99
— du Ternay.	1861-1867	3.000.000	1.020.000	0 34
— de la Rive *ou* du Ban.	1866-1870	1.850.000	950.000	0 51
— du Pas-du-Riot. . .	1873-1878	1.300.000	1.280.000	0 98
— de la Mouche. . . .	1885-1890	8.648.000	5.020.000	0 58
— du Chartrain. . . .	1888-1892	4.500.000	2.100.000	0 47
Totaux et moyenne.		20.898.000	11.960.000	0 57

Le réservoir des Settons fournit un remarquable exemple de l'économie qu'on peut réaliser par le choix judicieux de l'emplacement ; or c'est là un genre d'économie dont la recherche, en la matière, est non seulement permise mais même instamment recommandée aux ingénieurs. Il en est tout autrement de celles qui pourraient avoir pour résultat de diminuer les garanties de sécurité que doit, avant tout, présenter un barrage de réservoir ; celles-là seraient coupables. La hardiesse, en ce

Digitized by Google

genre d'ouvrages, doit être sévèrement proscrite et nous ne saurions mieux terminer sur ce point qu'en empruntant à notre éminent prédécesseur, M. l'inspecteur général Guillemain, les quelques lignes ci-après : « En présence des terribles catastro-
« phes que peuvent occasionner les barrages, d'une part, et
« d'autre part, des éventualités que laissent subsister les cal-
« culs, il faut tenir compte des hypothèses même les plus
« défavorables et, quand on a l'eau pour adversaire, on doit
« se prémunir contre tous les dangers, même ceux qui parais-
« sent les plus improbables ».

Digitized by Google

Digitized by Google

CHAPITRE IX

EXPLOITATION

208. Division du chapitre. — Dans la deuxième partie de ce cours, lorsque nous avons eu à traiter de l'exploitation des *rivières canalisées*, nous avons pu renvoyer le lecteur à ce qui avait été dit à propos des *rivières à courant libre*, en nous bornant à quelques additions nécessaires ou utiles, sur certains points spéciaux.

L'exploitation des canaux est trop différente de celle des rivières pour que nous puissions procéder ici de même. Assurément, nous nous abstiendrons de reproduire les indications déjà données dans les deux premières parties du cours, qui peuvent s'appliquer aux voies navigables entièrement artificielles ; nous éviterons autant que possible les doubles emplois : mais nous n'en reprendrons pas moins la question sous tous ses aspects, en classant les faits sous les trois rubriques :

Entretien de la voie ;

Matériel et traction ;

Exploitation technique et commerciale.

Nous terminerons par quelques indications au point de vue financier et par certaines considérations générales.

Digitized by Google

§ 1

ENTRETIEN DE LA VOIE

269. Conservation des berges. — La conservation des berges constitue une partie importante de l'entretien des canaux. Nous avons expliqué au début de ce volume (pages 3 et 4) comment les berges des canaux se dégradaient, se creusaient au niveau du plan d'eau sous l'influence de causes multiples : alternatives d'humidité et de sécheresse auxquelles sont soumises les terres qui constituent ces berges ; batillage de l'eau ; ondes formées par le passage des bateaux, surtout des bateaux à vapeur ; frottement des bateaux vides, etc...

Nous disions en même temps que, pour prévenir ces dégradations, une pratique assez répandue consistait à couper l'inclinaison de la berge, à peu près au niveau normal de l'eau, par une petite banquette horizontale, consolidée suivant les circonstances locales au moyen de fascines, de gazonnements, de plantations de roseaux ou d'arbustes.

Nous ajoutions enfin que ces dispositions préventives devenaient insuffisantes dès que le mouvement de la navigation prend une importance sérieuse, surtout si la navigation à vapeur se développe, et qu'il faut alors avoir recours aux revêtements à pierres sèches ou maçonnés.

Toutefois, avant d'aborder la description de ces revêtements, nous devons encore signaler ici divers types de défense de berges qui peuvent être employés avantageusement sur les canaux de moyenne fréquentation.

Le type représenté dans la figure 75 comporte une file de piquets espacés de 0 m. 80 d'axe en axe et reliés en tête par un double cours de planches en arrière desquelles on plante des roseaux ; il se recommande surtout par son prix extrême-

Digitized by Google

ment peu élevé ; sur les voies navigables du Nord et du Pas-de-Calais, il revient, en moyenne, à 2 fr. 20 le mètre courant.

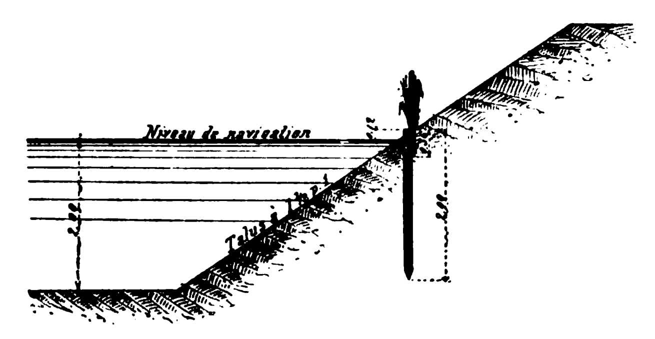


Fig. 75.

C'est au même service que nous empruntons encore le type de la figure 76 ; il comporte essentiellement une petite ris-

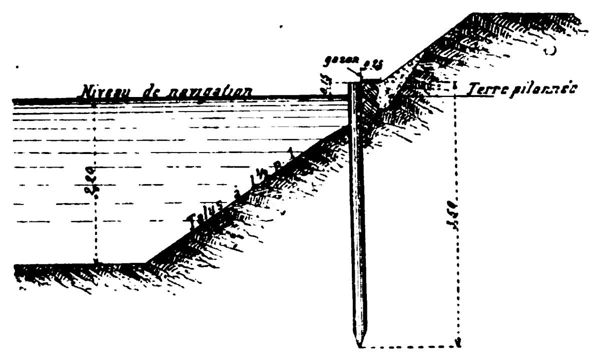


Fig. 76.

berme gazonnée de 0 m. 25 de largeur, soutenue par une file de pieux et des fascines en osier. Suivant l'importance de la dégradation, dont la réparation exige plus ou moins de fascines (d'une à quatre) et des pieux plus ou moins longs (de 2 m. 50 à 4 m. 50), le prix de revient varie de 3 fr. 25 à 11 fr. 50. Dans ce type, comme dans le précédent, c'est le développement de la végétation qui est un des principaux éléments de la défense ; on compte, en effet, que les osiers des fascines reprendront et que les racines consolideront la berge.

Digitized by Google

Sur certains canaux on a réussi à arrêter complètement les dégradations, en rétablissant le talus dégradé avec des cailloux ou des pierres cassées de dimensions analogues à celles des matériaux d'entretien des routes (fig. 77).

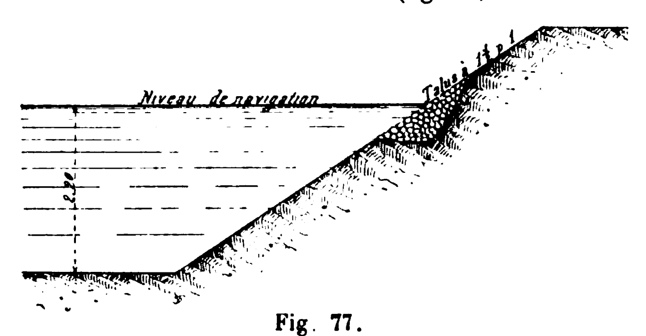


Fig. 77.

210. Perrés de flottaison. — Les perrés de fond, qui règnent sur toute la hauteur du talus, ou du moins depuis le plafond du canal jusqu'à une certaine hauteur au-dessus du plan d'eau, constituent assurément un mode de défense excellent; mais ils sont extrêmement coûteux et leur établissement exige, en réalité, la mise à sec du canal. Le type représenté dans la figure 78 n'est pas revenu à moins de 64 fr. 40 le

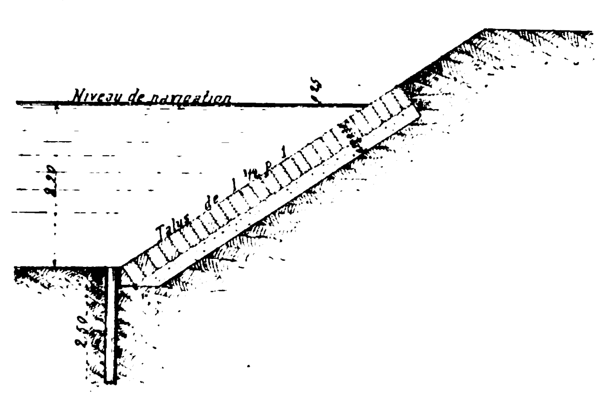


Fig. 78.

mètre courant, non compris les frais d'épuisement et de construction de batardeaux. Aussi les perrés de fond ne sont-ils

Digitized by Google

pas d'un emploi courant et ne se rencontrent-ils guère qu'aux abords des ouvrages d'art.

Limités à la portion de la berge plus spécialement exposée aux dégradations, les *perrés de flottaison* sont beaucoup moins coûteux et peuvent être construits sans abaissement du plan d'eau, derrière un petit batardeau.

Le type représenté dans la figure 79, adopté récemment

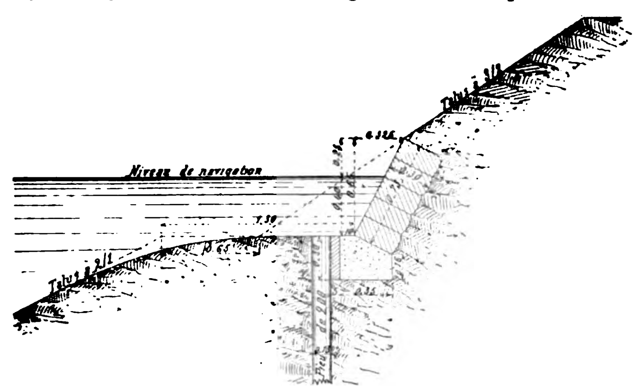


Fig. 79.

pour le canal de la Sensée, est tout à fait recommandable ; c'est le résultat de nombreux essais faits et de l'expérience acquise pendant de longues années dans le service des voies navigables du Nord et du Pas-de-Calais. Incliné à 1 de base pour 2 de hauteur, le perré, en maçonnerie de moellons avec mortier de chaux hydraulique, s'élève à 0 m. 25 au-dessus du plan d'eau normal et descend à 0 m. 40 au-dessous du même niveau ; il s'appuie sur un massif de fondation en béton, soutenu en avant par des contredosses en orme et des pieux espacés de 1 mètre d'axe en axe.

Le perré étant fondé à 0 m. 40 sous l'eau, les bateaux vides ne peuvent frotter contre la tête des pieux.

Grâce au raidissement du talus perreyé, la banquette ménagée en avant prend une largeur (1 m. 30) qui assure une résistance considérable à la fondation et permet d'employer des pieux ou plutôt des piquets de 2 mètres seulement de

Digitized by Google

longueur. Parfois même, quand le terrain est suffisamment résistant, on peut supprimer complètement la charpente.

Dans les conditions de la figure 79, le type revient à 13 fr. 50 le mètre courant, dont 1 franc pour bâtardeau et épuisements. Ce prix peut être ramené à 12 fr. 60 en substituant à la maçonnerie de moellons une maçonnerie de briques de 0 m. 35 d'épaisseur. En réduisant cette épaisseur à 0 m. 24, on fait tomber le prix à 10 fr. 80.

C'est également en maçonnerie de briques qu'est exécuté le type représenté dans la figure 80, employé sur le canal Saint-Quentin ; il ne diffère pour ainsi dire pas du précédent.

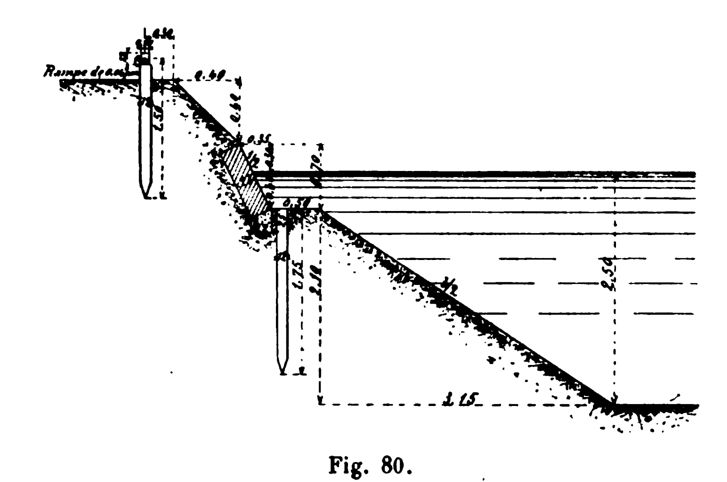


Fig. 80.

311. Murets ou murettes de flottaison. — Les types ci-dessus, qui comportent l'emploi de pieux ou de piquets, ne peuvent s'appliquer là où il y a une chemise d'étanchement en béton.

Nous avons indiqué plus haut (page 312) le dispositif employé dans ce cas sur le canal de la Marne au Rhin ; le perré de flottaison repose directement sur la chemise d'étanchement et fait corps avec elle.

Les figures 81 et 82 montrent la solution qui a été adoptée dans le même cas sur le canal de l'Aisne à la Marne, sous le

Digitized by Google

nom de *murets de flottaison*. La maçonnerie de ces petits murs se raccorde exactement et sans solution de continuité avec la chemise d'étanchement. Les indications des dessins sont assez détaillées pour se passer de commentaires. Les

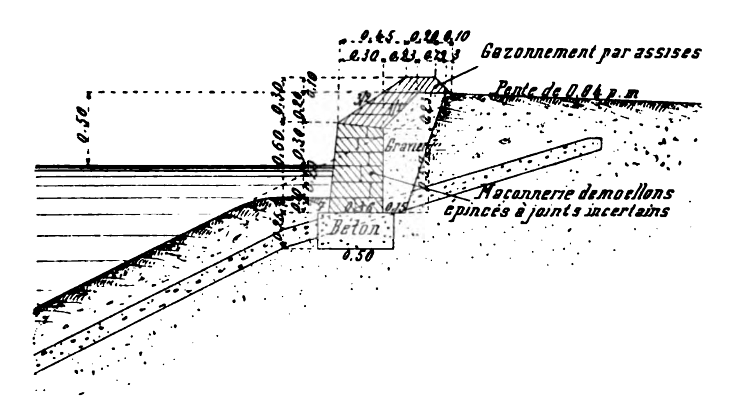


Fig. 81.

deux types, respectivement applicables aux anciens bétonnages exhaussés (fig. 81) et aux nouveaux bétonnages (fig. 82)

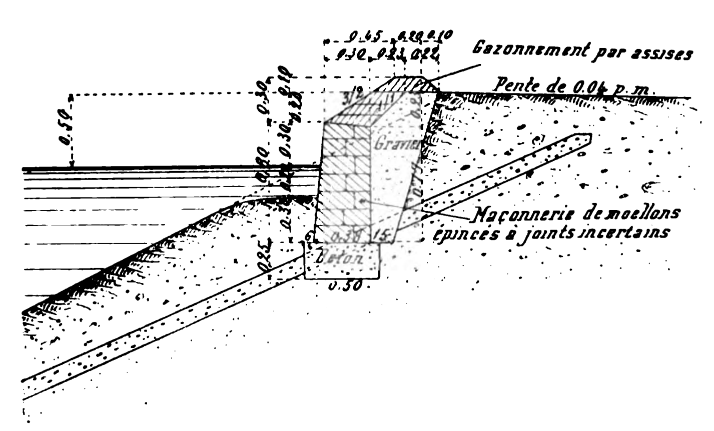


Fig. 82.

ne diffèrent que par la hauteur du muret ; ils reviennent, le premier à 11, le second à 14 francs par mètre courant.

Sur les canaux dérivés de la Marne (canaux Saint-Maurice

et Saint-Maur, de Chelles et de Chalifert), on a employé avec succès des murettes entièrement en béton de ciment de laitier (fig. 83) revenant de 11 à 12 francs le mètre courant, y compris les contreforts qui sont ménagés tous les 5 mètres, sur toute la

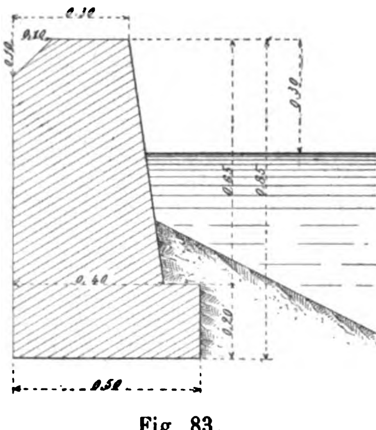


Fig. 83.

hauteur de la murette, avec 0 m. 50 de longueur et 0 m. 50 d'épaisseur.

212. Plantations. — La question des plantations le long des canaux se rattache par des liens étroits à la conservation des berges.

Les arbres ont sur les canaux une destination complexe. Leurs racines consolident le sol ; l'ombre que porte leur feuillage abrite les haleurs et préserve la terre des gerçures pendant la saison d'été, en même temps qu'elle favorise la croissance d'un gazon utile au même point de vue. Les vents violents qui, dans certaines contrées, poussent les bateaux à la rive, et par cela même augmentent l'effort de halage, peuvent être combattus par une plantation en rideau. Enfin la présence constante de l'eau développe la végétation d'une manière si rapide que l'on peut tirer, d'une exploitation régulière des produits, un revenu susceptible d'atténuer les charges de l'entretien.

Digitized by Google

On trouve dans les manuels d'arboriculture attribués par l'Administration à tous les bureaux d'ingénieur, les renseignements les plus précis sur les avantages de chaque essence, sur les soins à donner aux sujets, sur la manière d'établir et de conduire les pépinières, de transplanter, de défendre et de diriger les jeunes arbres ; nous ne saurions mieux faire que de renvoyer le lecteur à ces ouvrages essentiellement pratiques.

Remarquons d'ailleurs que, avec les changements de personnel auxquels les services de l'Etat sont exposés, il importe, dans l'intérêt des plantations, d'éviter les inconvénients qui ne pourraient manquer de résulter de la succession de diverses manières de faire. Il convient donc d'adopter une méthode unique ; et cette méthode est tout naturellement celle que l'Administration a recommandée et dont l'expérience a consacré la valeur. Nous nous bornerons dès lors à signaler ici quelques points particuliers, relatifs à l'utilisation des plantations.

Pour éviter la gêne qui résulte du vent par le travers, dans les contrées où les vents régnants ont cette orientation, le meilleur rideau, quand la nature du sol s'y prête, se forme avec un semis d'arbres verts. Dès que les sujets ont atteint une hauteur de quelques mètres, les branches basses se rejoignent et se croisent, formant une véritable zone de calme au niveau du sol. En Provence, les propriétés particulières se défendent de cette manière contre l'influence parfois désastreuse du mistral.

Il est rare qu'une alternance d'espèces réussisse, parce que le développement n'étant pas simultané, l'espèce la moins prompte est atrophiée, par l'autre. Il y a perte pour la production de bois en même temps qu'absence de continuité dans l'ombrage. En général, l'essence la plus favorable le long des canaux est le peuplier ; c'est du moins la plus répandue.

Il est utile de n'avoir, sur une même ligne d'une certaine étendue, que des sujets du même âge, afin qu'il y ait entre eux une égale répartition de soleil, d'air et de nutrition. Il résulte

Digitized by Google

de là que les coupes successives que l'on pratiquera devront être complètes et laisser le canal a nu sur des sections entières où le remplacement de tous les arbres sera simultané.

213. Dévasement de la cuvette. — Les eaux d'alimentation arrivent au canal animées d'une certaine vitesse ; une fois introduites dans la cuvette elles demeurent presque immobiles ; elles y laissent tomber les troubles dont elles pouvaient être chargées. Ainsi naît, sur le fond, un dépôt dont le maximum se trouve à la prise d'eau même et qui se prolonge en décroissant sur une distance plus ou moins grande à la suite.

D'autre part, les berges sont exposées à des dégradations importantes au niveau normal des eaux. La terre provenant de la partie supérieure de ces berges glisse jusqu'au plafond et engraisse le pied des talus.

Par ce double motif, le contour trapézoïdal primitif du profil se transforme en une courbe, dans laquelle deux bateaux chargés qui se croisent ne trouvent plus une largeur suffisante au plafond, tandis que le mouillage, même au milieu, va sans cesse en diminuant. Des dévasements ou curages périodiques sont nécessaires pour rendre à la circulation l'espace qu'elle a perdu.

Dans certains cas, on peut recourir à des expédients du genre de celui qui a été employé, dès 1811, pour l'entretien des canaux creusés dans les vases de l'embouchure de la Charente et qui a été appliqué plus tard sur le canal de la Somme. Quel que soit le nom sous lequel on désigne l'appareil, bac à rateau de M. Masquelez, vannage de M. Fouache ou bateau dragueur de M. Gambuzat, il repose toujours sur le même principe. Il comporte essentiellement un vannage trapézoïdal dessinant exactement le profil du canal et armé à sa partie inférieure de dents propres à attaquer le fond. Ce vannage est soutenu à la hauteur voulue par un ou plusieurs bateaux ou radeaux ; il barre complètement le canal dont l'eau se gonfle à l'amont et

Digitized by Google

s'abaisse à l'aval ; sous la poussée produite par cette dénivellation, l'appareil progresse en poussant devant lui jusqu'aux profondeurs les matières enlevées au sol. L'emploi de cet appareil suppose donc qu'on dispose de profondeurs pour y emmagasiner les vases ainsi rabotées. Ce seul fait explique qu'il soit resté et reste à l'état d'exception.

Dans la généralité des cas, c'est aux dragues qu'il faut avoir recours, parfois aux dragues à la main, le plus souvent aux dragues à vapeur ; mais il faut reconnaître que l'emploi des dragues ordinaires dans les canaux laisse beaucoup à désirer.

Les dragues à godets, qui sont les plus usitées, sont en effet des instruments puissants, mais un peu brutaux ; leur fonctionnement n'est économique que quand on a à attaquer un dépôt important, dans lequel les godets peuvent mordre en creusant un sillon profond et continu.

Il n'en est généralement pas ainsi dans un canal ; il faut, au contraire, recueillir, çà et là, par places, une mince couche de vase inégalement répartie sur le plafond et dont l'enlèvement exige des déplacements réitérés. Or, il arrive souvent que les dragues ne peuvent passer sous les ponts des canaux qu'après avoir subi un démontage partiel. D'autre part, pour pouvoir *papillonner*, ces engins ont besoin de frapper des amarres sur les rives du canal ; leur fonctionnement se concilie mal avec les exigences d'une navigation active. De cet ensemble de circonstances résulte une très notable augmentation sur les prix habituels de dragage.

A un autre point de vue, il est difficile de limiter à un plan exactement horizontal l'action des machines, surtout avec les oscillations que subit la tenue d'eau des biefs par le jeu de l'alimentation ou des éclusées. Tout ce qui reste en dessus du plafond normal peut être une gêne ; toute excavation faite en dessous peut être une cause sérieuse de déperditions. Quand les biefs sont bétonnés, les irrégularités inévitables qu'amène l'action de la drague constituent, en outre, un danger pour la conservation de ces bétonnages. Enfin la drague, ne se prête

Digitized by Google

pas au règlement direct des talus de la cuvette ; on est obligé de les dessiner au moyen de redans à faces horizontales et verticales, en comptant sur de petits éboulements pour réaliser leur inclinaison régulière.

Quoi qu'il en soit, la plupart de ces inconvénients sont grandement atténués par l'emploi des petites dragues à pétrole qui ont été imaginées dans le service de la Petite Seine[1] (Seine en amont de Montereau) et qui ont été introduits ultérieurement sur divers canaux, notamment sur le canal de Briare où nous en avons vu fonctionner une. Les dimensions de cette dernière ont été déterminées de façon qu'elle peut passer librement sous les ponts présentant la hauteur libre réglementaire de 3 m. 70. La nature du moteur réduit au minimum les inconvénients des interruptions de travail, et sa simplicité est telle que sa conduite peut être confiée à un agent quelconque, à un garde de navigation par exemple. Le prix de revient moyen du mètre cube sur le canal de Briare, en 1900, a été de 0 fr. 60, déchargement compris, ce qui constitue une économie considérable par rapport aux prix antérieurement payés.

214. Curage à sec. — A la faveur d'un chômage on peut effectuer le curage à sec par les procédés ordinaires de terrassement. C'est assurément la méthode qui permet de rétablir le plus exactement le profil normal du canal ; mais, d'une façon générale, elle ne doit être employée qu'autant que le chômage est nécessité par d'autres travaux. Il serait absolument abusif d'interrompre la navigation dans le but unique d'opérer des curages et des dévasements qu'on peut faire, sinon aussi bien du moins d'une manière suffisante, à la drague, sans abaissement du plan d'eau. C'est seulement dans les biefs bétonnés que le dévasement à sec peut être considéré, jusqu'à

1. *Annales des Ponts et Chaussées,* 1901, 1er trimestre ; note sur une drague à pétrole pour dragages d'entretien, par M. Wender, ingénieur des Ponts et Chaussées.


Digitized by Google

nouvel ordre, comme une nécessité à laquelle il n'est guère possible de se soustraire.

215. Inconvénients des dévasements et des curages. — En dehors des biefs bétonnés, les dévasements, quels que soient les procédés employés pour leur exécution, présentent de sérieux inconvénients au point de vue de l'étanchéité du canal. Nous savons en effet que les canaux, lorsqu'ils sont neufs, laissent échapper par filtration un cube d'eau très considérable et qu'ils s'étanchent surtout avec le temps, grâce aux dépôts qui imprègnent et recouvrent leurs parois. Attaquer ces dépôts c'est donc toujours diminuer l'étanchéité de la cuvette, et le mal s'aggrave encore si, en dépassant le plafond normal, on met à découvert une couche de terrain ayant conservé la perméabilité primitive. Aussi sera-t-il sage de ne recourir aux dévasements que quand on y sera forcé; tant que les dépôts resteront dans une limite qui le permettra, on cherchera plutôt à regagner le mouillage perdu par une légère surélévation du plan d'eau, si faire se peut.

Ces considérations justifient encore la recommandation déjà faite, à d'autres points de vue, de donner à la cuvette du canal, quand on peut le faire sans surcroît de dépense excessif, plus de largeur et de profondeur que ne l'exige le gabarit normal. On rendra ainsi les dévasements plus rares et, en y procédant, on pourra respecter, au moins partiellement, les dépôts vaseux, c'est-à-dire conserver l'étanchement naturel, toujours efficace.

216. Faucardement des herbes. — Indépendamment des plantes qui poussent à fleur d'eau sur les talus des canaux, il se développe à fond d'eau toute une végétation aquatique, qui met obstacle au mouvement de l'eau d'alimentation et à la marche des bateaux; les bateaux à vapeur et principalement ceux qui ont des propulseurs à hélice ont particulièrement à en souffrir. Il est indispensable de couper ces herbes aussitôt

Digitized by Google

qu'elles ont pris un développement susceptible de nuire, ce qui conduit quelquefois à faire plusieurs coupes pendant la belle saison.

Divers moyens sont employés à cet effet. Tantôt on promène dans le canal une sorte de faux triangulaire à bords aiguisés, que de légères chaînes laissées à la traîne maintiennent sur le plafond, pendant qu'on tire l'appareil de la rive ou d'un bateau, en lui imprimant une succession de secousses [1]. Tantôt c'est une chaîne de faux, qui scie les herbes sur tout le périmètre de la section, lorsqu'on lui communique un mouvement de va-et-vient tout en progressant [2].

Quel que soit le moyen choisi, la coupe se pratique assez facilement; il suffit de provoquer, dans le canal, la formation d'un léger courant qui donne aux herbes une faible inclinaison d'amont en aval, pendant qu'on manœuvre l'instrument d'aval en amont; la section s'opère alors vite et bien.

L'enlèvement de ces herbes, qui tantôt flottent et tantôt restent entre deux eaux, peut être moins aisé. Dans le premier cas, rien de plus simple que de les rassembler et de les tirer sur la berge; dans le second, on est forcé de recourir à des filets dont la manœuvre est d'une grande difficulté, pour peu que la coupe soit abondante; mais on ne peut se dispenser de le faire, si l'on ne veut pas laisser les herbes s'engager dans les ventelles, se loger derrière les portes d'écluses et même se réunir en masses susceptibles d'arrêter les bateaux.

On a cru reconnaître que les plantes aquatiques coupées flottaient lorsqu'elles n'étaient pas arrivées à maturité et restaient, au contraire, immergées quand la saison était plus avancée. En outre, la croissance serait plus rapide et la production plus abondante, là où le soleil peut frapper l'eau, c'est-à-dire sur les parties où les plantations font défaut. Ces observations

1. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1832, 1er semestre; note de M. Masquelez.

2. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1852, 1er semestre; note de M. Tarbé de Saint-Hardouin.

conduisent à effectuer le faucardement dès que les herbes ont assez poussé pour recevoir la faux et à commencer par les parties les plus exposées au soleil, dût-on plus tard renouveler l'opération.

Le faucardement n'est pas moins nécessaire sur les rigoles d'alimentation, où la végétation aquatique n'est pas contrariée par le passage des bateaux et se développe rapidement, grâce à la faible profondeur de l'eau ; il en est qu'on est obligé de faucarder presque tous les mois en été, si l'on ne veut pas que le débit se réduise d'une manière préjudiciable à l'alimentation. En traitant de la construction de ces rigoles, nous avons déjà signalé l'utilité de planter sur les bords des arbrisseaux formant berceau ; c'est le plus sûr moyen d'éviter le développement trop rapide de la végétation aquatique.

Ce qui ressort nettement des explications ci-dessus, c'est que le faucardement ne donne que des résultats éphémères. Pour obtenir des effets durables ou au moins plus durables, il faudrait arracher les plantes aquatiques, ce qui ne peut se faire pratiquement qu'au moyen de dragages ou de curages, c'est-à-dire au moyen d'opérations coûteuses et qui ne laissent pas, elles aussi, d'avoir des inconvénients, ainsi que nous l'avons montré plus haut.

217. Déglaçage des canaux. — Sur les canaux, la glace apparaît bien plus vite que sur les cours d'eau naturels, aux moindres froids, on peut dire. Tant qu'elle n'est pas formée on peut chercher à prévenir sa formation, en forçant le courant d'alimentation (le même procédé est d'ailleurs recommandé pour accélérer la fusion au moment du dégel), mais quand toute la surface du canal est congelée et que la glace a acquis une certaine épaisseur, c'est, surtout dans les climats froids, un mal inévitable qu'il faut subir.

En effet, sur les canaux de navigation intérieure, le cassage des glaces, en vue de la circulation des bateaux, est généralement impraticable eu égard à l'impossibilité d'évacuer les

Digitized by Google

glaçons. Si le froid est vif, ils se ressoudent chaque nuit ; d'ailleurs les glaçons flottants peuvent blesser les bateaux et s'opposer à leur passage d'une manière presque aussi absolue que si la glace était continue.

L'opération ne peut être tentée avec chances de succès que dans les cas où la gelée est peu intense et peu prolongée ; elle est également justifiée toutes les fois que le dégel se produit. Mais elle est toujours longue et pénible et doit être subordonnée au concours actif des mariniers qui en profitent ; c'est là la meilleure preuve de l'intérêt qui s'y attache, en même temps qu'une garantie que les efforts et les sacrifices n'auront pas été faits en pure perte.

Divers procédés peuvent être employés pour ouvrir un chenal à travers la glace.

On peut, avec des haches, ouvrir un double sillon, à la largeur utile, et briser à coups de masse la glace entre ces deux sillons. C'est un moyen peu rapide, coûteux et lent, mais n'exigeant aucun outillage spécial, il est à la portée de tous et susceptible d'une application immédiate, même en rase campagne.

Nous avons eu à organiser une intéressante opération de ce genre, sur le canal de Neuffosé, pendant le fameux hiver de 1879-1880. A la fin de la longue période de froids excessifs qui ont marqué cet hiver absolument exceptionnel, lorsque enfin survint le dégel, le canal était recouvert d'une couche de glace épaisse de plusieurs décimètres. Attendre que cette glace fondît sur place était inadmissible ; la casser sans évacuer les glaçons n'eût pas sensiblement amélioré les choses, et évacuer les glaçons par l'échelle d'écluses des Fontinettes était impossible ; on s'arrêta au parti suivant.

Une tranchée A fut ouverte à la hache, dans la glace, suivant l'axe du canal (fig. 84), ainsi que deux autres tranchées parallèles et distantes de 3 mètres de la première, l'une à droite, l'autre à gauche. Les deux bandes de glace ainsi détachées de la masse furent ensuite recoupées par des tranchées

Digitized by Google

transversales et divisées en fragments à peu près carrés de 3 mètres sur 3 mètres. Ces fragments furent alors refoulés

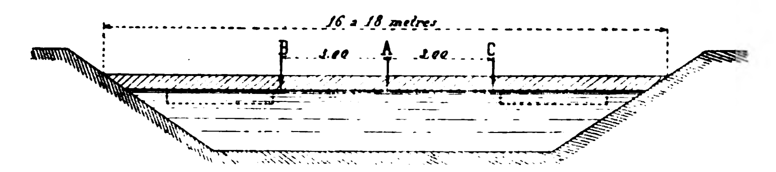


Fig. 84

sous les glaces latérales, dans la position indiquée par des traits ponctués sur la figure ; au fur et à mesure un chenal se trouvait librement ouvert sur 6 mètres de largeur. Grâce à une main-d'œuvre abondante, l'opération put être très vivement menée.

Quand il ne s'agit que de briser la glace, on peut se servir de la poudre et de la dynamite. Seulement ce procédé a un inconvénient qui n'est pas sans gravité, en dehors même du danger qui s'attache à l'emploi de matières explosibles, c'est la destruction du poisson qui se trouve dans le canal. Bien que ce ne soit pas un intérêt de premier ordre, on conçoit cependant qu'il ne doit être sacrifié qu'à bon escient et quand on ne peut pas faire autrement.

Enfin, l'emploi du bateau brise-glaces est certainement la meilleure solution dans les contrées et sur les lignes où le cassage est à prévoir d'une façon normale.

Quand la glace est peu épaisse, un simple batelet ordinaire peut suffire. On le met à flot dans un espace qu'on a rendu préalablement libre ; on le hale puissamment des deux rives dans la direction du chenal à créer, en engageant son avant sur la glace et en laissant flotter l'arrière, de telle sorte que tout le poids du bateau pèse sur la croûte solide et la brise lorsqu'il avance. Des hommes placés à bord peuvent concourir au succès de l'opération, en imprimant au bateau un mouvement de roulis, qui jette tout le poids, tantôt sur un côté, tantôt sur l'autre, et augmente l'importance des fractures

Digitized by Google

Fig. 1 _ Coupe longitudinale.

Fig. 4 _ Coupe suivant AB.

Fig. 2 _ Demi-coupe horizontale (*Le plancher enlevé*).

Fig. 3 _ Demi-plan

Fig. 5 _ Position du bateau dans des glaces de 0,20.

Pl. XCVII. BATEAU BRISE-GLACES DU CANAL DE L'AISNE A LA MARNE.

Digitized by Google

successives. Naturellement le dessous du bateau doit être fortement doublé de tôle, faute de quoi les angles de la glace l'useraient très rapidement.

Quand la glace est plus forte, il faut une coque plus lourde et plus puissante, sans être beaucoup plus grande ; la coque entièrement métallique est alors indiquée. La planche XCVII reproduit les dessins d'un bateau brise-glaces qui a été employé, dans le même hiver 1879-1880, à l'ouverture d'un passage dans le canal de l'Aisne à la Marne.

Ce bateau qui pèse 5 tonnes en totalité, lest compris, a coûté 2.800 francs ; pour fonctionner, il exigeait la traction de 12 chevaux marchant à la vitesse d'environ 4 kilomètres à l'heure. Le bordé a une épaisseur de 5 millimètres et la partie inférieure est protégée par une forte armature. Les glaces qu'il a brisées avaient jusqu'à 0 m. 30 d'épaisseur.

Pour ce qui est des puissants bateaux brise-glaces à vapeur, employés surtout au maintien de la navigation maritime dans les estuaires, nous en avons parlé dans la première partie du cours. Il nous suffira d'ajouter qu'à l'Exposition universelle de 1900 des spécimens très remarquables avaient été exposés par l'Allemagne.

218. Entretien des ouvrages d'art. — Nous n'avons pour ainsi dire rien à ajouter aux indications précédemment données, soit dans les articles consacrés à chaque espèce particulière d'ouvrages d'art, soit dans les articles des deux premières parties du cours qui traitent spécialement de l'entretien. Nous nous bornerons à quelques observations au sujet des peintures et des goudronnages, qui entrent pour une bonne part dans l'entretien des ouvrages en bois ou en métal.

L'usage des peintures à base de céruse est absolument interdit dans les travaux de l'Etat, en France (Circulaire ministérielle du 1er juin 1901).

En ce qui concerne les goudronnages, on ne doit pas se servir indifféremment du goudron végétal ou goudron de

Digitized by Google

Norvège et du goudron minéral ou goudron de gaz. Ce dernier peut être employé pour les maçonneries, les fers et même, à la rigueur, les bois constamment noyés ; mais il doit être absolument proscrit pour les bois qui restent à l'air ou qui sont soumis à des alternatives de sécheresse ou d'humidité ; sous l'action du soleil, le goudron minéral s'échauffe et produit alors peut-être plus de mal que de bien. On peut s'en rapporter, à cet égard, à ce que font les bateliers. Si ménagers qu'ils soient de leurs deniers, il ne se servent pour la portion des coques qui émerge que de goudron végétal, aisément reconnaissable à sa belle couleur jaune d'or.

219. Chômages. Chômages généraux. — A proprement parler, toutes les fois qu'il y a interruption de navigation, il y a chômage. Le manque d'eau, les grandes crues, les glaces sont autant de causes de chômages qui s'appliquent généralement à des parcours assez étendus et ont le caractère de cas de force majeure. D'autres chômages peuvent encore résulter de faits accidentels, par exemple d'avaries survenues à des ouvrages de la voie navigable ou à des bateaux ; ceux-là sont nécessairement très localisés et il appartient au service des Ponts et Chaussées d'en réduire la durée par des mesures convenablement prises.

En fait, on appelle plus particulièrement *chômages* les interruptions de navigation résultant d'une décision administrative prise en vue de faciliter les travaux, notamment ceux d'entretien et de réparations ordinaires. Et, en effet, le besoin de réparation des ouvrages noyés, dans un canal maintenu constamment à son niveau normal, ne peut, en général, s'apprécier que par la constatation d'avaries assez fortes pour devenir apparentes, c'est-à-dire quand le mal a déjà pris un développement notable. Il est impossible, d'ailleurs, de prévenir les accidents en consolidant les parties qui ne font que menacer, puisqu'on ne les voit pas ; c'est seulement en vidant le canal qu'on peut se rendre un compte exact de la situation,

Digitized by Google

remédier à ce qui souffre et faire commodément, économiquement et vite, tout ce que réclame un bon état d'entretien.

D'autre part, il n'y a pas bien longtemps encore, un grand nombre de canaux à point de partage manquaient d'eau pendant les sécheresses ; la navigation y était alors forcément suspendue. On conçoit que la pensée soit venue naturellement à l'esprit d'utiliser cette suspension forcée pour réparer tout ce qui était en souffrance, en rendant le chômage complet sur la ligne entière pendant la période de pénurie d'eau.

Les canaux voisins, s'ils étaient plus favorisés sous le rapport de l'alimentation, n'en faisaient pas moins coïncider leur chômage avec celui du canal privé d'eau, afin d'utiliser le temps d'arrêt imposé à la navigation sur un de leurs tenants et aboutissants, de sorte qu'un *chômage général* s'établissait dans toute une région de la manière la plus logique et la mieux motivée. On choisissait l'époque de façon à concilier le mieux possible les intérêts en présence, et le commerce averti prenait ses dispositions pour effectuer ses envois en saison favorable.

Aujourd'hui l'alimentation des canaux s'est améliorée, des sacrifices considérables ont été faits dans ce but et l'état actuel des ressources alimentaires n'exige plus les mêmes interruptions de la navigation. D'autre part, le réseau, dans ses lignes principales, présente maintenant des dimensions uniformes qui permettent les transports dans des conditions plus avantageuses et à plus grandes distances. En fait le trafic par eau à pris une grande extension, mais au fur et à mesure qu'il s'est développé, il a plus lourdement senti les inconvénients de cette cessation périodique et parfois prolongée des relations. Le commerce a réclamé avec instances, et non sans raison, la continuité des transports par eau aussi bien que celle des transports par voie ferrée ; un mouvement d'opinion très marqué s'est produit tendant à obtenir que les chômages généraux disparaissent ou du moins soient réduits autant que possible.

Digitized by Google

La suppression complète de ces chômages paraît, en effet, sur la plupart des canaux, une mesure à peu près irréalisable. Certains travaux d'entretien, tels que ceux *des pont-canaux*, *des radiers d'écluses*, *des étanchements bétonnés*, exigent impérieusement la vidange du canal. A ce point de vue, on ne saurait établir aucune assimilation avec un chemin de fer. Les parties essentielles de la voie ferrée ne sont pas sous l'eau ; d'autre part, les chemins de fer comportent le plus souvent deux voies ou, s'il n'en existe qu'une seule, il est généralement possible de la dévier. Dans les écluses, les ponts-canaux, les souterrains des canaux, au contraire, il n'existe en général qu'une seule voie de bateaux et, si elle est en réparation, le passage est nécessairement intercepté. Pour arriver à la suppression complète des chômages, il faudrait tout d'abord se résoudre au doublement des ouvrages d'art à une voie ou au moins des principaux d'entre eux.

Mais sans aller jusque-là, il convient de donner satisfaction, dans la mesure du possible, à des vœux trop légitimes pour qu'ils ne soient pas pris en sérieuse considération. Les canaux sont faits pour desservir le commerce et l'industrie et on ne doit rien négliger de ce qui peut leur permettre de remplir leur office. L'objectif est, ainsi que nous l'avons dit, sinon la suppression absolue des chômages généraux, du moins leur réduction au strict nécessaire. On doit donc, sur chaque voie en particulier, chercher à les espacer le plus possible et à les limiter aux longueurs les plus restreintes, aux durées les plus courtes, aux travaux qui exigent *absolument* la vidange du canal, dût-il en résulter un accroissement, même notable, du prix de revient des travaux. Voici, par exemple une série de mesures qui peuvent être recommandées, dans ce but.

Amener à un état d'entretien parfait les cuvettes des ponts-canaux, les radiers (buscs et faux-buscs compris) et les arrières radiers des écluses, les voûtes d'aqueducs, les perrés aux abords des ponts et des écluses et, en général, toutes les maçonneries noyées ; n'employer dans ces parties des ouvrages que

Digitized by Google

des matériaux de premier choix qui leur assurent la plus grande durée possible.

Ramener les portes d'écluses à un type uniforme, afin que les rechanges puissent prendre exactement la place des pièces à remplacer ; disposer les colliers, les tourillons et les ventelles de telle sorte que les changements puissent s'effectuer sans chômage ; tenir des appareils de levage et des approvisionnements suffisants toujours prêts pour le cas de besoin.

Faire emploi du scaphandre dans une large mesure et avoir, à cet effet, un personnel d'éclusiers et de gardes habitués à se servir de cet engin.

Etablir en nombre suffisant, sur toute l'étendue du canal, des ouvrages qui permettent l'évacuation des eaux et l'établissement de batardeaux en poutrelles, ces derniers étant autant que possible, comme les portes d'écluses, d'un type uniforme, afin que le matériel de bouchage soit interchangeable et que le maniement de ce matériel ne constitue qu'une opération courante à laquelle le personnel soit habitué.

Mais tout en cherchant à réaliser ces desiderata dans la construction des canaux neufs ou l'amérioration des canaux existants, il faut bien prendre ceux-ci tels qu'ils se comportent et les entretenir dans leur état actuel, et, alors même que les mesures indiquées auraient pu être intégralement réalisées, des chômages périodiques d'entretien n'en resteraient pas moins, à des intervalles plus ou moins longs, nécessaires.

220. Epoque des chômages. — L'impossibilité d'éviter complètement les chômages étant admise, la première question qui se pose est la détermination de l'époque à laquelle il convient de placer ces chômages ; il en est peu qui aient donné lieu à des discussions aussi vives et aussi prolongées. En effet, les sujétions de l'entretien, les ressources de l'alimentation, les besoins mêmes du commerce, sont loin d'être partout les mêmes ; de là résultent des divergences d'appréciation parfaitement motivées, suivant le point de vue auquel on se place,

Digitized by Google

Là où les canaux sont alimentés exclusivement par des eaux pérennes et ne possèdent pas de réservoirs, une considération domine toutes les autres, c'est la possibilité du remplissage ; il faut choisir pour le chômage une saison telle que les sources ne soient pas encore arrivées à leur étiage lorsque l'interruption de la navigation prend fin. Cette condition commanderait le choix du *printemps* ou tout au moins du *commencement de l'été*. Nous avons dit (page 261) combien le remplissage absorbe de temps et d'eau. Il peut en résulter, pour certaines voies, une incertitude absolue sur la possibilité de la reprise de la navigation, quand elle doit avoir lieu en plein été ou à l'automne, et l'on a vu des canaux demeurer en chômage jusqu'en novembre, malgré les efforts les plus énergiques faits en vue du remplissage.

Là où l'eau abonde et surtout sur les rivières canalisées, on a, au contraire, une tendance naturelle à reporter le chômage au moment des plus basses eaux c'est-à-dire *au milieu ou à la fin de l'été* ; c'est l'époque où l'on peut le plus facilement visiter et réparer les barrages ; en toute hypothèse, c'est celle où l'on aura le moins d'épuisements à faire.

Signalons encore, pour être complet, l'essai de chômages d'*hiver* qui a été fait au canal de la Marne au Rhin. On s'était dit : puisque la glace impose, en hiver, un arrêt forcé à la batellerie, profitons-en pour faire en même temps les travaux d'entretien et éviter ainsi tout chômage d'été. Mais dans nos pays, l'époque, l'intensité et la durée des froids sont trop incertaines ; la gelée ne coïncidait pas toujours avec la date assignée au chômage. D'autre part, les jours sont courts en hiver ; les réfections de maçonnerie s'exécutaient mal, malgré toutes les précautions prises ; enfin les sous-pressions qui s'exerçaient à ce moment avec toute leur intensité produisaient des effets dangereux sur les bétonnages d'étanchement ; bref on a renoncé aux chômages d'hiver.

D'un autre côté, des considérations relatives à la main-d'œuvre et à l'hygiène interviennent aussi dans la question.

Digitized by Google

En été, les jours sont, il est vrai, plus longs ; mais, dans les pays agricoles, les ouvriers sont absorbés par les travaux de la moisson, la main-d'œuvre est plus rare, plus difficile à recruter et ce fait est de nature à réagir sur la durée du chômage. Ailleurs, dans les pays d'industrie sucrière, par exemple, ce ne sont plus les moissons, c'est la récolte de la betterave, qui tend à produire le même résultat en automne.

D'autre part, l'été, les appréhensions que peut faire naître la vidange d'un canal, au point de vue de l'hygiène, sont plus vives et, jusqu'à un certain point, mieux justifiées. Dans le Nord, les canaux de navigation servent à l'écoulement des résidus de nombreuses industries, et la baisse des eaux, si elle coïncidait avec les chaleurs, pourrait donner lieu à des émanations insalubres.

Sur cette question de l'époque des chômages, les intéressés eux-mêmes ne sont pas d'accord entre eux. Le Nord, qui dans le mouvement de nos voies navigables, joue un rôle prépondérant, a toujours demandé, par ses organes accrédités, des chômages de printemps ; les tendances sont les mêmes dans l'Est de la France. Par contre, le commerce de Paris insistait pour que les chômages fussent plus tardifs et il était appuyé par la plus grande partie de la batellerie.

Le commerce parisien faisait valoir la nécessité de reconstituer en temps utile l'approvisionnement de la capitale, épuisé pendant l'hiver, en combustible et surtout en bois à brûler. Le bois ne se coupe en forêt qu'à des époques déterminées, et la date à laquelle il peut arriver, par eau, à Paris est à peu près commandée.

Quant à la batellerie, elle aurait été satisfaite, après les chômages occasionnés par les glaces de l'hiver sur les canaux et par les crues du printemps sur les rivières, de pouvoir profiter, avant le chômage d'entretien, d'une période assez longue pendant laquelle la navigation se fait généralement dans de bonnes conditions.

La question se complique enfin de la nécessité d'une

Digitized by Google

entente avec la Belgique et l'Allemagne pour le chômage des voies navigables internationales qui relient ces deux pays à la France.

Au milieu de toutes ces données contradictoires, il n'est pas étonnant que les discussions auxquelles nous avons fait allusion plus haut se soient produites et, assurément, on doit trouver dans cette difficulté de concilier des intérêts contraires un motif de plus pour tâcher d'arriver, sinon à une suppression complète des chômages généraux, qui les satisferait tous mais qui paraît irréalisable, du moins à une réduction progressive vers laquelle doivent tendre les efforts de tous les ingénieurs.

221. Simultanéité des chômages. — Quoi qu'il en soit, il y a un intérêt capital à faire coïncider tous les chômages ; on ne peut pas exposer les bateaux à se heurter, pendant toute la belle saison, à une succession d'obstacles qui les forcent à s'arrêter. La diversité des époques des chômages prolongerait, pour ainsi dire indéfiniment, la durée des perturbations qu'ils causent et rendrait à tout jamais impossible l'établissement de transports directs à grandes distances avec correspondance des lignes navigables entre elles, seul système compatible avec les besoins de l'industrie actuelle, seule raison qui justifie l'uniformisation du type des canaux et des écluses. Cette diversité serait la réduction à néant de tout l'effet des sacrifices que le pays s'est imposés pour l'amélioration des voies navigables.

On pratiquait jadis sur les lignes navigables du Nord vers Paris, dans un but tout spécial, ce qu'on appelait l'échelonnement des chômages. On faisait commencer les interruptions d'une manière successive dans les diverses sections d'une même ligne, en les échelonnant dans le sens du plus fort trafic, c'est-à-dire vers Paris, de manière qu'un bateau chargé, sortant de la section la plus éloignée, au commencement du chômage dans cette section, pût arriver à destination sans être arrêté en route.

Digitized by Google

L'expérience a fini par démontrer que ce système présentait les plus graves inconvénients. S'il facilitait l'arrivée des bateaux chargés à Paris, c'était au détriment du trafic en sens inverse. A la fin du chômage, tous les bateaux vides se trouvaient accumulés à l'extrémité de la ligne ; il en résultait au retour des encombrements interminables et, pendant ce temps, le matériel faisait défaut dans les ports d'expédition, par exemple dans les ports des charbonnages du Nord. Enfin les lignes secondaires qui viennent se greffer sur la ligne principale étaient sacrifiées. On a définitivement renoncé à l'échelonnement et, si nous en parlons, c'est surtout pour mettre le lecteur en garde contre un système qui paraît séduisant au premier abord, dont les inconvénients n'ont été mis en pleine lumière qu'à la suite d'une étude approfondie et qui, par cela même, trouve encore, de temps en temps, quelque protagoniste.

On doit considérer aujourd'hui comme un point bien et définitivement acquis la nécessité de la *simultanéité absolue* des chômages. Le principe est appliqué depuis 1899 et l'expérience, au fur et à mesure qu'elle se poursuit, ne fait qu'en confirmer la valeur. L'application est d'ailleurs accompagnée de toutes les précautions commandées par l'intérêt de la batellerie.

Comme, en vertu d'une convention internationale, les voies qui traversent les frontières de Belgique et d'Allemagne doivent chômer pendant la période qui s'étend du 15 juin au 15 juillet, c'est dans cette même période que doivent être compris les chômages pour toutes les voies du réseau français[1].

Sur chaque voie en particulier, le chômage est limité aux seuls biefs dont la vidange est indispensable ; sa durée est

1. Il ne s'agit ici, bien entendu, que du réseau continu qui s'étend dans les régions du Nord, de l'Est, du Sud-Est et du Centre ; pour les voies isolées du Midi de la France, des Charentes, de la Bretagne, etc., la simultanéité n'aurait aucun intérêt ; l'époque des chômages est fixée d'après les convenances locales.

Digitized by Google

réduite autant que possible à quinze ou vingt jours au plus[1]; en général, on s'attache à le faire commencer au début de la période ci-dessus indiquée, c'est-à-dire le 15 juin, sauf à le terminer avant l'expiration de ladite période.

Sur une même ligne, on ne fait d'ordinaire de chômage que tous les deux ans[1]; quand deux ou plusieurs lignes réunissent deux centres importants, comme il arrive pour Paris et Lyon par exemple, on s'arrange pour que, chaque année, une au moins de ces lignes reste toujours libre.

Pour toutes les voies navigables de France, les chômages sont fixés chaque année par un même arrêté ministériel pris à la suite d'une instruction, au cours de laquelle tous les intéressés sont mis à même de se faire entendre, et porté ensuite à leur connaissance par les moyens de la publicité la plus large.

229. Inconvénients techniques du chômage. — Si la mise en chômage ou plus exactement la mise à sec des canaux facilite l'exécution des travaux, elle a cependant, au point de vue technique, des inconvénients qu'il importe de signaler ici.

Nous avons déjà expliqué comment, sous l'influence de causes multiples, un mouvement des terres s'opérait de la partie supérieure des berges au fond de la cuvette, celles-là s'affouillant, celui-ci s'exhaussant et se rétrécissant. La mise à sec du canal accélère et accentue cette déformation du profil en provoquant le glissement des vases déposées sur le talus. Si le chômage se prolonge, les vases ainsi accumulées sur le plafond se durcissent et peuvent gêner singulièrement la navigation, lors de sa reprise, surtout dans les premiers temps.

D'autre part, la dessiccation des parois de la cuvette compromet leur étanchéité, surtout si un curage a été exécuté ; mais lorsque ces parois sont d'une nature argileuse, susceptible de

1. On ne fait d'exception à cette règle que pour les voies sur lesquelles sont en cours d'importants travaux de transformation qu'il importe de terminer dans le moindre nombre d'années possible.


Digitized by Google

se fissurer en se desséchant, de plus graves inconvénients sont à redouter dans certains cas.

Nous citerons, comme exemple, un accident qui est survenu sur le canal de Neuffossé, dans la traversée des fortifications de Saint-Omer, à la suite d'un chômage prolongé. En ce point, le canal (fig. 85) était séparé du fossé des fortifications par un

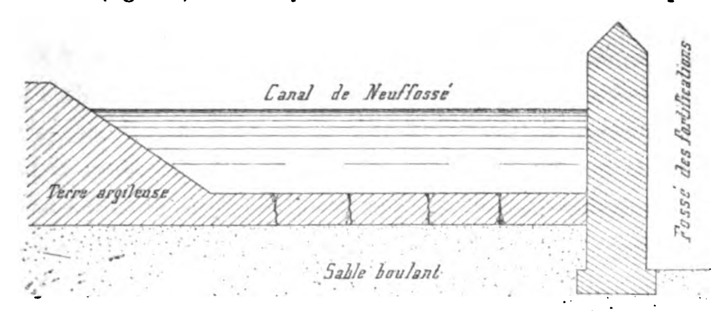


Fig. 85.

mur fondé sur le sable boulant qui se rencontre en abondance dans le pays. Pendant le chômage, des fissures pénétrant jusqu'au sous-sol sablonneux s'étaient sans aucun doute produites dans le plafond argileux du canal. Au moment du remplissage, l'eau passant par les fissures atteignit le sable boulant qui céda sous la pression, et le mur fut emporté sur une longueur importante. Des travaux considérables et un nouveau chômage furent nécessaires pour reconstituer une berge nouvelle au canal.

En résumé, *mettre un bief de canal à sec, lorsqu'on peut l'éviter, constitue, à tous les points de vue, une faute.*

§ 2.

MATÉRIEL ET TRACTION

223. Matériel en usage sur les canaux. — Ainsi que nous l'avons dejà dit dans une autre partie de ce cours[1], la

1. *Rivières à courant libre*, chapitre III, articles 72 et 73.

Digitized by Google

distinction jadis faite entre les bateaux de canaux et les bateaux de rivières n'a plus de raison d'être aujourd'hui. On aurait sans doute beaucoup de peine à trouver maintenant des bateaux qui restent exclusivement cantonnés sur les voies navigables entièrement artificielles.

Toutefois, les bateaux qui naviguent actuellement sur les canaux, en France, ne peuvent dépasser les dimensions inscrites dans la loi du 5 août 1879, à savoir : 38 m. 50 de longueur, 5 mètres de largeur et 1 m. 80 d'enfoncement. Mais un certain nombre de types restent au-dessous de ces dimensions, soit qu'ils aient à circuler sur des canaux qui ne sont pas encore au gabarit légal, soit par suite de considérations commerciales.

224. Traction sur les canaux. Considérations générales. — Il s'en faut que le problème de la traction soit heureusement et complètement résolu pour les canaux comme il l'est pour les rivières, canalisées ou non. Cependant, si les procédés les plus primitifs sont encore fréquemment employés, des efforts considérables ont été faits, surtout dans ces dernières années, pour l'application des moyens mécaniques à la traction sur les canaux; nous avons à signaler nombre de tentatives extrêmement intéressantes.

Qu'il nous soit permis de renouveler ici une critique déjà faite ailleurs [1], au sujet de l'assiette des taxes perçues pour la rémunération des services de traction exploités directement par l'Administration, ou organisés sous sa direction et son contrôle. Les tarifs sont fixés par tonne et par kilomètre, sans tenir compte du mode de construction des bateaux et, par conséquent, de l'effort nécessaire pour en assurer la traction. Des tarifs de cette nature ont nécessairement pour effet de retarder toute amélioration dans notre matériel de navigation intérieure. Leur modification serait fort à désirer.

1. *Rivières à courant libre,* chapitre VII, article 249.

Digitized by Google

225. Halage à bras ou à col d'hommes. — Sur les canaux du Centre de la France, ce mode de traction quasi-barbare est encore très usité et il faut reconnaître qu'il n'est pas coûteux. Un bateau est traîné par deux hommes placés généralement, l'un sur une rive, l'autre sur l'autre. De cette manière l'axe du bateau reste naturellement parallèle à celui du canal; l'action du gouvernail devient inutile; on le supprime, et il n'est plus nécessaire d'avoir un équipage à bord. Le halage à bras est un travail très pénible, qu'il ne serait pas possible de soutenir, si les écluses ne venaient, à de courts intervalles, permettre des repos chèrement gagnés. La vitesse atteint rarement 1 kilomètre à l'heure (0 m. 28 à la seconde) et, avec le temps perdu aux écluses, on ne saurait compter sur un cheminement de plus de 8 à 10 kilomètres par jour. Le prix de traction est de 5 à 7 millimes par tonne kilométrique.

226. Halage mixte. — Sur le canal du Berri dont les écluses sont très étroites, on se sert exclusivement de petits bateaux qui n'ont que 2 m. 50 de large et qui ne jaugent que 50 à 60 tonnes. A bord de chaque bateau est logé un âne qui fournit la traction, mais qui est secondé, lorsque les circonstances l'exigent, par le marinier et sa famille. Avec cette organisation toute primitive, les *Berrichons* font cependant concurrence aux grands bateaux, non seulement sur les canaux qui communiquent avec le canal du Berri, mais encore sur les rivières du bassin de la Seine. Le prix de ce halage mixte est sensiblement le même que celui du halage à bras mais le parcours journalier est plus que doublé, ces bateaux pouvant, à raison de leur faible surface au maître-couple, prendre, sans effort, dans les canaux à section ordinaire, une allure relativement rapide.

227. Halage par chevaux avec relais. — Le halage par chevaux peut s'effectuer au moyen d'animaux installés à bord comme les ânes des Berrichons. Il peut aussi se faire *aux*

Digitized by Google

longs jours. Nous avons dit ailleurs [1] en quoi consiste ce mode de halage dont un grand inconvénient est l'incessante variation des prix. Cependant on peut admettre, comme prix moyen, 5 millimes par tonne et par kilomètre.

Le *halage par chevaux avec relais* dont le nom donne une suffisante définition, a été et est encore appliqué spécialement sur les voies navigables de la Belgique vers Paris et sur celles du Nord et du Pas-de-Calais.

Sur l'Oise et sur le canal latéral, de Conflans-Sainte-Honorine à Chauny, sur une longueur de 138 kilomètres, le halage par relais a été établi dès 1875 par des industriels, MM. Pavot frères. Les relais, au nombre de treize, étaient situés à proximité des écluses ainsi qu'aux points extrêmes du parcours. MM. Pavot s'étaient assuré une clientèle régulière, malgré la concurrence des haleurs aux longs jours, au moyen de contrats par lesquels les bateliers s'engagaient, pour une durée de 3 à 5 ans, à se servir exclusivement de leurs chevaux moyennant un tarif déterminé. Sur l'Oise, le développement du remorquage à vapeur a fait disparaître le halage par relais, mais ce dernier fonctionne encore sur le canal latéral, entre Janville et Chauny. Le tarif est en moyenne :

Pour un bateau chargé : { à la descente, 0 fr. 75 par kilomètre ;
à la remonte, 0 fr. 80 par kilomètre ;

Pour un bateau vide, 0 fr. 50 par kilomètre ;

Pour deux bateaux vides marchant en soupente, 0 fr. 75 par kilomètre.

Ce tarif, pour une péniche au chargement complet de 280 tonnes en moyenne, correspond à 2,7 millimes à la descente et à 2,9 à la remonte, par tonne kilométrique.

Sur l'Escaut et sur les deux versants du canal de Saint-Quentin ainsi que sur le canal de la Sensée, soit de Condé à Chauny, d'une part, et à Courchelettes, d'autre part, sur une longueur totale de 146 kilomètres, le halage par relais consti-

1. *Rivières à courant libre*, chapitre III, article 86.

Digitized by Google

tue un service régulier établi par l'Etat en vertu d'un décret du 19 juin 1875. Chacune de ces voies est divisée en lots, dont l'exploitation est concédée pour six ans à un entrepreneur, par voie d'adjudication publique.

Le halage ainsi organisé est obligatoire pour tous les bateaux chargés, tant à la remonte qu'à la descente, à l'exception des bateaux à vapeur ; il est facultatif pour les bateaux vides. L'Administration s'est réservé le droit de concéder tout autre mode de halage qui n'admettrait pas les chevaux comme moyen de traction, mais jusqu'à présent elle n'a pas fait usage de ce droit sur les voies considérées ; d'autre part les mariniers n'usent qu'exceptionnellement de la faculté qui leur est accordée de faire par leurs propres moyens la traction des bateaux vides ; les entrepreneurs du halage par relais jouissent donc, en fait, du monopole absolu de la traction des bateaux, à l'exception des bateaux à vapeur.

Ces entrepreneurs sont tenus d'effectuer le halage sans aucun retard, avec une vitesse de deux kilomètres à l'heure (0 m. 56 à la seconde). Ils sont également tenus d'atteler aux bateaux, à l'entrée et à la sortie des écluses, des chevaux de renfort en nombre suffisant pour accélérer autant qu'il convient cette double opération.

Les taxes de halage sont réglées par tonne kilométrique d'après les prix du tarif, sous déduction du rabais de l'adjudication ; le tableau d'autre part fait connaître les prix effectivement appliqués actuellement.

Pour un bateau à plein chargement, ils varient, par tonne kilométrique : à la remonte de 3,4 à 4,9 millimes ; à la descente, de 2,9 à 3,3 millimes.

Cette organisation produit de bons résultats et permet de desservir un trafic qui, sur le canal de Saint-Quentin, s'est élevé à six millions de tonnes en 1901. L'atteinte portée à la liberté de la circulation se justifie pleinement, dans l'espèce, par la nécessité d'éviter tout retard sur des voies navigables à fréquentation exceptionnelle et d'y prévenir des encombre-

Digitized by Google

ments qui seraient préjudiciables à l'intérêt général ; elle est commandée par une nécessité d'ordre public.

On peut consulter, sur cette question du halage, nombre de mémoires insérés aux *Annales des Ponts et Chaussées*, mais

PRIX D'APPLICATION pour le halage par relais (Décret du 19 juin 1875)	ESCAUT 1re section	ESCAUT 2e section	CANAL de St-Quentin	CANAL de la Sensée
A la remonte				
Par tonne kilométrique de jauge possible.	0f 001827	0f 001744	0f 001314	0f 001466
Par tonne kilométrique de chargement effectif.	0 003045	0 002740	0 002627	0 001954
A la descente				
Par tonne kilométrique de jauge possible.	0 001218	0 001163	0 001314	0 001221
Par tonne kilométrique de chargement effectif.	0 001827	0 001744	0 001955	0 001710

nous croyons devoir signaler comme particulièrement intéressant un mémoire de M. l'inspecteur général Derôme, qui figure dans le *Compte rendu du Congrès d'utilisation des eaux fluviales* [1].

228. Applications spéciales et localisées de la traction mécanique. — En France, des applications de la traction mécanique sur les voies navigables artificielles ont été, depuis longtemps déjà, faites directement par l'Etat, dans des parties de canaux où la navigation se heurte à des sujétions toutes particulières, c'est-à-dire dans les biefs de partage avec souterrains.

Ces souterrains, à voie unique, sont précédés et suivis de tranchées profondes qui, souvent, ne présentent aussi qu'une

1. Congrès tenu à Paris en 1889.

Digitized by Google

voie. On ne peut y faire passer les bateaux qu'alternativement et exclusivement dans un sens et dans l'autre ; la réglementation du passage et la marche en convois alternatifs s'imposent.

D'autre part, dans ces portions de canaux à section rétrécie, la traction des convois exige des efforts considérables tandis que le défaut de largeur des banquettes rend le halage extrêmement difficile ; l'installation de moyens mécaniques devient une nécessité. Nous pouvons en citer plusieurs exemples intéressants à divers titres.

Au bief de partage du canal de Saint-Quentin, sur un parcours de 18 k. 800 comprenant deux souterrains d'une longueur, ensemble, de 6 k. 768, l'Etat exploite en régie un service de touage sur chaîne noyée, dont l'usage est obligatoire pour tous les bateaux et qui est assuré au moyen de trois toueurs avec tambours à gorge.

Nous avons déjà fait connaître l'importance colossale du trafic sur le canal de Saint-Quentin ; en 1901, le tonnage effectif s'est élevé à six millions de tonnes (exactement 5.999.905), le tonnage moyen à 4.544.504.

Les convois toués au bief de partage comptent de 15 à 25 bateaux, on en a vu de 35 ; leur longueur varie de 800 à 1.300 et même 1.800 mètres ; leur tonnage (chargement utile), dans la direction de Paris, de 3.200 à 6.200 et même 10.000 tonnes. Dans les courbes de faible rayon, ces longs convois sont guidés par des estacades disposées du côté de la rive convexe, qui comportent au niveau de l'eau une glissière posée à l'aplomb du pied du talus.

La taxe imposée aux bateaux pour la rémunération du service rendu est très peu élevée ; elle est calculée sur le pied de deux millimes par tonne kilométrique de chargement utile ; les bateaux vides sont remorqués gratuitement. Néanmoins, l'exploitation du touage laisse à l'Etat un bénéfice important, à cause de l'énormité du trafic. Le prix de revient de la traction ne dépasse guère un millime par tonne kilométrique.

Digitized by Google

Cette organisation va être incessamment modifiée par la substitution de toueurs électriques aux toueurs à vapeur ordinaires actuellement en service. Ceux-ci présentent, en effet, un inconvénient fort grave. Le passage du grand souterrain, long de5.670 mètres, dure plusieurs heures. A raison de la réduction de la section mouillée, la vitesse y est très faible, de 1.200 à 1.500 mètres à l'heure au plus; parfois même des arrêts sont nécessaires pour laisser l'eau violemment refoulée à l'avant du convoi reprendre son niveau. Dans ces conditions, l'émission de la fumée est très gênante et peut être dangereuse ; des hommes sont très souvent incommodés et, bien qu'il ne soit jamais arrivé d'accident mortel, on a eu plusieurs fois à constater des commencements d'asphyxie. L'installation de l'électricité constituera une très grande amélioration.

Au bief de partage de Mauvages, du canal de la Marne au Rhin, un service de touage sur chaîne noyée est également installé, avec un parcours de 7 k. 300 dont 4 k. 877 en souterrain. On évite l'inconvénient signalé ci-dessus en faisant usage de machines du système Francq, marchant sans feu, au moyen de réservoirs de vapeur placés sur les toueurs et chargés à haute pression en dehors du souterrain.

L'emploi du toueur est obligatoire pour tous les bateaux ; la taxe, de cinq millimes par tonne et par kilomètre, est cependant à peine rémunératrice, le trafic étant très inférieur à celui du canal de Saint-Quentin (le tonnage moyen sur le canal de la Marne au Rhin a été de 1.301.199 tonnes en 1901).

Le système Francq était également employé *au bief de partage du canal de Bourgogne*, où le touage sur chaîne noyée est installé sur un parcours de 5 k. 700 dont 5 k. 200 en tunnel (souterrain de Pouilly) ou en tranchées à voie unique. Mais les toueurs à vapeur étant arrivés à leur limite d'usage, une solution des plus élégantes comportant l'emploi de l'électricité a été imaginée par M. l'ingénieur en chef Galliot [1].

1. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1894, 2e semestre.

Digitized by Google

Le bief de partage du canal de Bourgogne doit constamment fournir une grande quantité d'eau pour l'alimentation des deux versants ; aux deux extrémités du bief on a créé des chutes et sur ces chutes on a installé des turbines qui actionnent des machines génératrices d'électricité.

Au moyen d'une ligne aérienne qui court le long du canal et d'un trolley, l'énergie électrique est transmise à la machine réceptrice installée à bord du toueur et celle-ci commande une poulie à empreintes sur laquelle passe la chaîne de touage. L'électricité sert en même temps à l'éclairage du toueur à l'intérieur du souterrain et à celui des abords de cet ouvrage.

Le touage électrique a été mis en service public le 15 août 1893 et, depuis lors, il a fonctionné sans interruption de la manière la plus satisfaisante. Les taxes perçues, assez élevées, sont au minimum : bateaux vides, 1 fr. 50 ; bateaux chargés, 1 fr. 50 pour la coque et 0 fr. 05 par tonne de chargement ; trains de bois 0 fr. 05 par stère. En cas de passages de nuit, ces chiffres sont majorés et dans certaines circonstances des minimums de perception sont stipulés. Néanmoins l'exploitation n'est pas rémunératrice, à raison du faible trafic du canal de Bourgogne (tonnage moyen de 215.696 tonnes en 1901).

Plus récemment encore, *au bief de partage du canal de l'Aisne à la Marne*, sur un parcours de 2 k. 500 dont 2 k. 300 en souterrain, on a installé le halage funiculaire, mode de traction sur lequel nous nous réservons de donner plus loin (article 232, page 536) des détails circonstanciés. Le tarif est de 0 fr. 02 par tonne de chargement pour la longueur totale du trajet de 2 k. 500 ; le halage funiculaire est gratuit pour les bateaux vides ; les bateaux à vapeur sont autorisés à se servir de leurs moteurs. Avec un mouvement de 1.450.000 tonnes par an, l'exploitation est rémunératrice.

Citons encore *le bief de partage du canal du Nivernais* long de 4.500 mètres, dont 3.700 en trois souterrains et en tranchées profondes à voie unique, où *le halage à col d'hom-*

Digitized by Google

mes était seul possible. Depuis le 1er décembre 1901 un service de touage sur chaîne noyée y fonctionne [1]. L'originalité de l'installation consiste dans l'emploi, pour le toueur, d'un moteur à pétrole ; on a dû, en effet, s'appliquer à simplifier autant que possible cette installation, étant donné que le trafic dans le bief de partage du canal du Nivernais est des plus faibles (55.000 tonnes par an).

Le tarif est le suivant : bateaux chargés, par coque de 100 tonnes de jauge et au-dessous 0 fr. 50, par coque de plus de 100 tonnes de jauge 1 franc, par tonne de chargement 0 fr. 04 ; trains de bois, par stère 0 fr. 04. Les bateaux vides sont toués gratuitement. Naturellement l'exploitation est en déficit, mais ce déficit est plutôt resté au-dessous des prévisions. Le coefficient d'exploitation pour la première année a été de 169 0/0.

229. Conditions générales du problème de la traction mécanique sur les canaux. — Quelque intéressantes que soient les applications mentionnées ci-dessus, elles ne peuvent être considérées comme donnant une solution du problème de la traction mécanique sur les canaux, dans les conditions normales. Elles répondent en effet à des conditions toutes spéciales qui comportent notamment la marche par convois alternativement dans un sens ou dans l'autre.

Sur les canaux, sur nos canaux de France en particulier, où les écluses sont multipliées et ne peuvent généralement recevoir qu'un bateau à la fois, la navigation par bateaux isolés, marchant d'une manière continue doit être considérée comme la *règle*. D'autre part, dans ces canaux, le rapport de la section mouillée à la surface de la portion immergée du maître-couple des bateaux est faible ; la vitesse doit donc y être très réduite sous peine de provoquer des résistances excessives ; la vitesse de 0 m. 75 par seconde (2 kil. 700 à l'heure) peut être considérée comme une limite qui ne saurait être pratiquement dépas-

1. *Annales des Ponts et Chaussées* : 1902, 1er trimestre, page 210 ; 1903, 1er trimestre, page 368.

Digitized by Google

sée. Dans ces conditions, la traction de chaque bateau n'exige qu'une force extrêment réduite et *la difficulté du problème consiste précisément à obtenir économiquement cette division de la force motrice.* C'est là la question qui a préoccupé et qui préoccupe grandement nombre d'ingénieurs. L'ampleur des débats auxquels elle a donné lieu dans les derniers congrès internationaux de navigation en est une preuve manifeste.

230. Application générale du touage. Essais divers. — On s'est demandé, notamment, si le touage ne pourrait pas être appliqué dans les conditions suivantes. Chaque bateau serait transformé temporairement en un *toueur-porteur*, grâce à l'installation à bord d'un appareil de touage, avec son moteur en tant que de besoin, la chaîne étant fournie et placée par l'Etat, faisant en quelque sorte partie du canal.

La première idée de cette solution revient à M. Bouquié dont le système[1], permettant de prendre et de lâcher la chaîne avec grande facilité, rendait les croisements possibles. Chaque bateau devait recevoir à son entrée dans le canal et laisser à sa sortie l'appareil de touage et une locomobile pour l'actionner. La chose est restée à l'état de projet ; *l'obligation d'installer à bord une locomobile avec tous les impedimenta qu'elle comporte* était, évidemment, peu pratique.

La poulie magnétique[2] se prête aux croisements aussi bien que la poulie à empreintes. M. de Bovet a repris l'idée de M. Bouquié, mais avec une modification capitale. Au lieu de faire mouvoir l'appareil de touage par une machine à vapeur installée à bord, il le faisait actionner par une dynamo empruntant l'énergie électrique à une ligne établie le long du canal. Les appareils à installer temporairement sur le bateau et la conduite de ces appareils se trouvaient ainsi réduits à leur plus simple expression. Des essais intéressants ont été

1. *Rivières à courant libre*, chapitre III, article 95.
2. *Rivières à courant libre*, chapitre III, article 98.

Digitized by Google

faits dans cet ordre d'idées, en 1894, sur le canal Saint-Denis, mais ils n'ont pas eu de suites, à notre connaissance.

Au lieu de transformer ainsi, temporairement, chaque bateau en un *toueur-porteur*, divers ingénieurs, parmi lesquels M. l'ingénieur en chef Galliot, ont eu l'idée de le transformer en un *bateau-porteur à hélice*. A cet effet, chaque bateau recevait, en échange de son gouvernail ordinaire, un gouvernail spécial, dans lequel était installée une petite hélice mise en mouvement au moyen de l'énergie électrique empruntée, comme dans le cas précédent, à une ligne courant le long du canal. Dans cet ordre d'idées également nous n'avons à enregistrer que des essais ; il en a été fait, notamment, sur le canal de Bourgogne pendant l'hiver 1895-1896. Avec ce système on évite les frais d'installation et d'entretien d'une chaîne, mais le rendement mécanique de l'hélice est extrêmement faible, à cause surtout des formes défecteuses des bateaux.

On peut éviter cette dernière cause de diminution de rendement en employant de petits remorqueurs spéciaux dont l'hélice est actionnée électriquement comme ci-dessus. C'est ce qui a été fait sur le canal de Charleroi à Bruxelles [1].

231. Halage par locomotives à vapeur. — On a essayé de faire la traction des bateaux au moyen de locomotives à vapeur circulant sur une voie ferrée portée par le chemin de halage ; ces essais n'ont pas réussi.

Il en a été ainsi, notamment, de la tentative faite par M. Larmanjat, sur le canal de Bourgogne, en vertu d'un décret du 18 juin 1873. Ce canal a un trafic médiocre (215.696 tonnes à distance entière, en 1901) et, sur une longueur de 242 kilomètres, ne présente pas moins de 189 écluses. Les bateaux devaient être remorqués isolément, par de petites locomotives

1. Communication de M. Léon Gérard, administrateur délégué de la Société Belge de traction électrique sur les voies navigables, au Congrès international de navigation de 1902, à Düsseldorf.

Digitized by Google

d'un système spécial pesant seulement 4 tonnes. Dans le système Larmanjat, la voie comporte un rail unique sur lequel roulent deux *roues directrices* de la machine ; deux autres roues, *roues motrices*, portent sur la chaussée et y prennent l'adhérence nécessaire. Les mécomptes auxquels a promptement succombé cette entreprise paraissent avoir été à la fois d'ordre technique et d'ordre financier.

Un autre service de traction par locomotives à vapeur a fonctionné pendant quelques années sur les canaux de Neuffossé, d'Aire et de la Deule, entre les écluses des Fontinettes près de Saint-Omer et les abords de Douai. Sur tout ce parcours, le trafic est considérable [1] et on ne rencontre qu'une écluse. D'autre part, à l'époque, l'ascenseur n'était pas encore construit; le passage aux écluses des Fontinettes était alternatif; les bateaux montants passaient les lundi, mercredi, vendredi et dimanche ; les autres jours de la semaine étaient affectés aux bateaux descendants. Il y avait toujours en amont des écluses un amas de bateaux attendant, soit leur tour de passage, soit des moyens de traction pour continuer leur route. Dans ces conditions les bateaux pouvaient sans inconvénients être remorqués en convois, ce qui permettait d'utiliser entièrement la force des locomotives.

La voie était une voie ordinaire de 1 mètre. Les locomotives, des locomotives-tenders à quatre roues couplées, pesant 11 tonnes à vide et 14 tonnes en ordre de marche, présentaient une disposition spéciale qui leur permettait de développer une puissance suffisante avec une très petite vitesse de marche (1.500 mètres à l'heure). Au point de vue technique la réussite a été complète, mais pas au point de vue financier, malgré les circonstances éminemment favorables relatées ci-dessus. Ce service avait à lutter contre le halage aux longs jours et en outre contre un service de touage établi entre

1. Le tonnage moyen ramené à la distance entière a été, en 1901 : sur le canal de Neuffossé, de 1.767.397 tonnes; sur le canal d'Aire, de 1.990.866 tonnes et sur le canal de la Deule, de 3.035.691 tonnes.

Digitized by Google

Pont-à-Vendin et les abords de Douai, sur une longueur de 18 kilomètres. Le prix de traction était, en 1885, de 3,4 millimes par tonne kilométrique pour la totalité du parcours ; il est descendu jusqu'à 2,7 millimes sur la section de Pont-à-Vendin à Douai. Ces prix n'étaient sans doute pas rémunérateurs, car la société du halage à vapeur a dû entrer en liquidation et cesser tout service à partir du 1er février 1886. Il y a d'ailleurs lieu de remarquer que, dans l'espèce, la solution ne répondait pas complètement aux conditions générales du problème, puisqu'on naviguait par convois.

232. Halage funiculaire. — Ramené à ses dispositions essentielles, le halage funiculaire consiste dans l'emploi d'un câble sans fin actionné par un moteur fixe. Les deux brins du câble courent sur des poulies, l'un à droite, l'autre à gauche du canal. Les bateaux s'amarrent individuellement à l'un ou à l'autre de ces brins suivant le sens de leur marche ; le câble opère par suite, simultanément, la traction des bateaux à la remonte et à la descente (fig. 86).

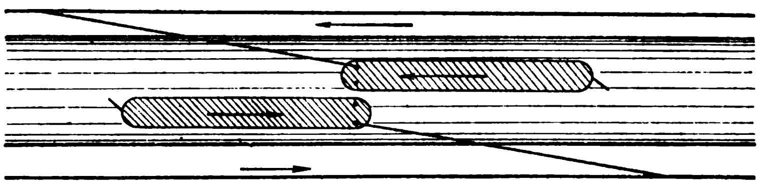


Fig. 86.

Le principe est simple et l'idée séduisante, mais lorsqu'on veut passer à l'exécution on se heurte à de nombreuses difficultés qui peuvent se résumer comme il suit :

1° Par suite de l'obliquité de la traction, les bateaux tendent constamment à arracher le câble des poulies qui le portent ou le dirigent, il faut pour éviter le *déraillement* qu'il soit comme emprisonné sur ces poulies ;

2° Chaque fois que la corde d'amarre ou remorque arrive

Digitized by Google

à une poulie, elle s'engage dans la gorge en même temps que le câble. Tandis que celui-ci doit rester emprisonné dans la gorge, la remorque au contraire, doit s'en échapper spontanément. Il faut que l'issue offerte à cette dernière soit interdite au câble ;

3° Le câble est constamment en marche, à une hauteur plus ou moins grande au-dessus du chemin de halage, de là certaines difficultés pour y attacher la remorque ; il faut cependant que le moyen d'attache soit simple, rapide et à la portée de tous les mariniers ;

4° Une fois l'attelage fait, il ne faut pas que le câble entraîne immédiatement la remorque et, par suite le bateau ; il faut que le marinier ait le temps de remonter à bord, avant le départ ;

5° Quand l'entraînement commence, il faut qu'il soit progressif ; le démarrage du bateau doit se faire petit à petit ;

6° En route, il faut qu'à tout instant le marinier, restant à bord, puisse s'il le désire arrêter la marche de son bateau et, à cet effet, détacher la remorque.

Telles sont les données générales du problème. Les conditions d'application en déterminent d'autres infiniment variées. Les berges d'un canal, avec les étranglements des ponts et les ressauts des écluses, présentent en plan et en profil des formes capricieuses que le câble est astreint à épouser. Le tracé du système funiculaire, au lieu de se réduire à deux lignes droites parallèles, présente des brisures saillantes ou rentrantes qui peuvent être situées dans un plan quelconque entre l'horizontal et le vertical ; il est aisé de concevoir qu'il en résulte des difficultés particulières pour prévenir le déraillement. Enfin, il faut compter avec le *vrillage*, mouvement de rotation du câble sur lui-même qui accompagne toujours son mouvement de translation et qui constitue une des plus sérieuses difficultés que les inventeurs aient rencontrées.

Les premiers essais de halage funiculaire datent de 1862, mais, sans remonter aussi loin, il nous suffira de dire que les

Digitized by Google

ingénieurs venus à l'Exposition universelle de 1889, à Paris, ont pu voir deux spécimens de ce genre de traction mécanique installés à titre d'expérience, l'un sur le canal de Saint-Quentin, par M. Oriolle, l'autre sur les canaux Saint-Maur et Saint-Maurice, par M. l'inspecteur général Maurice Lévy. Le système de M. Maurice Lévy étant seul, à notre connaissance, passé dans la pratique, c'est le seul dont nous parlerons ici[1]; nous donnerons quelques détails sur l'application qui en a été faite pour la traction des bateaux dans le bief de partage du canal de l'Aisne à la Marne[2].

Ce bief de partage a une longueur totale de 2.600 mètres dont 2.300 en tunnel (souterrain du Mont-de-Billy). Le câble s'étend à 150 mètres environ au delà de chacune des têtes du souterrain, ce qui lui donne une longueur totale de 2.600 mètres. Entièrement métallique, ce câble a 0 m. 03 de diamètre, pèse 3 kil. 700 par mètre courant et ne s'est rompu que sous un effort de 55 tonnes. Il subit l'action d'un contrepoids de 10 tonnes, lui donnant une tension de 5 tonnes en moyenne sur chaque brin, ce qui correspond pour les fils d'acier trempé du câble à une tension permanente de 15 kilogrammes environ par millimètre carré. Cette forte tension est une des caractéristiques du système de M. Maurice Lévy ; elle maintient dans d'étroites limites les oscillations tant horizontales que verticales et prévient les déraillements du câble. Les efforts extérieurs, la traction oblique et irrégulière des remorques restent, vis-à-vis de la tension permanente, des quantités négligeables, pour ainsi dire.

1. On trouvera la description détaillée des deux systèmes dans une publication intitulée *Etude des moyens mécaniques et électriques de traction des bateaux*, compte-rendu d'une mission par MM. Maurice Lévy et Pavie.

2. Voir les rapports présentés par MM. les ingénieurs en chef La Rivière et Bourguin : 1° au VII° Congrès international de navigation, à Bruxelles, en 1898, — *Modes de traction mécanique le long des canaux* ; 2° Au VIII° Congrès international de navigation, à Paris, en 1900, — *Progrès des applications de la mécanique à l'exploitation des voies navigables*.

Digitized by Google

Les deux brins du câble sont disposés l'un au-dessus de l'autre d'un même côté du canal, celui du halage ; à l'extérieur du tunnel, ils sont dans un même plan vertical ; à l'intérieur, les poulies de support étant scellées dans le piédroit et dans la voûte, de façon à laisser la banquette de halage libre pour le passage éventuel des chevaux, le brin supérieur, qui est à 2 m. 80 au-dessus du niveau de la banquette, est un peu en avant de l'autre.

Laissant de côté les poulies spéciales de renvoi et de changement de direction, considérons seulement les poulies de support (pl. XCVIII, page 541) ; elles ont uniformément 0 m. 50 de diamètre à fond de gorge. Nous avons dit comment, dans le souterrain, elles sont scellées dans les maçonneries ; en dehors elles sont supportées par de solides bâtis métalliques ancrés chacun dans un massif de béton ; leurs joues extérieures sont munies de crans pour faciliter le dégagement des cordes d'attelage des bateaux.

Le brin inférieur du câble étant plus bas que le point d'amarrage sur les bateaux, la corde d'attelage ne s'engage pas dans les poulies du bas qui sont simplement munies d'un fermoir pour empêcher que le câble saute. Aux poulies supérieures, les crans suffisent en dehors du souterrain pour le dégagement des cordes d'attelage ; mais à l'intérieur, ces derniers, qui font un angle très aigu avec le câble, s'engagent dans les poulies, et, pour les en faire sortir, il faut les soulever à l'aide de guidages scellés dans les maçonneries.

Le mode d'attache des cordes des bateaux au câble, le mode d'attelage en un mot, est un des points délicats du système, surtout à cause du vrillage. Il faut, en effet, que cet attelage, tout en étant assez solide pour supporter l'effort de traction, soit assez mobile sur le câble pour n'être pas entraîné dans le mouvement de rotation de ce dernier. Il faut aussi éviter au câble toute compression qui le déformerait et amènerait rapidement sa ruine. La solution imaginée par M. Maurice Lévy et appliquée au Mont-de-Billy est d'une simplicité extrême et

Digitized by Google

d'une efficacité presque absolue ; l'enroulement est rendu tout à fait exceptionnel.

Le câble présente à des intervalles réguliers (tous les 30 mètres dans l'espèce) des arrêts fixes constitués comme il suit : on enroule autour du câble, sur 0 m. 20 de longueur, une ficelle enduite d'un mélange de résine et de goudron ; on obtient ainsi un bourrelet appelé *transfil*, suffisamment solide, sur lequel s'appuie une bague en acier coulé ayant intérieurement le diamètre du câble et formée de deux parties réunies par des goupilles, de façon à pouvoir s'enlever très facilement (fig. 87). Quelquefois, pour augmenter la mobilité du système

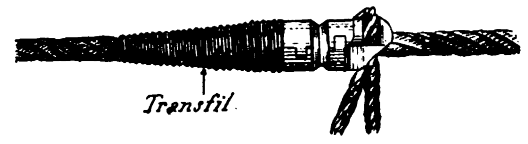


Fig. 87

d'attache, on ajoute une seconde bague qui n'est en contact avec la première que par des surfaces planes bien polies ; c'est le cas dans la figure 87.

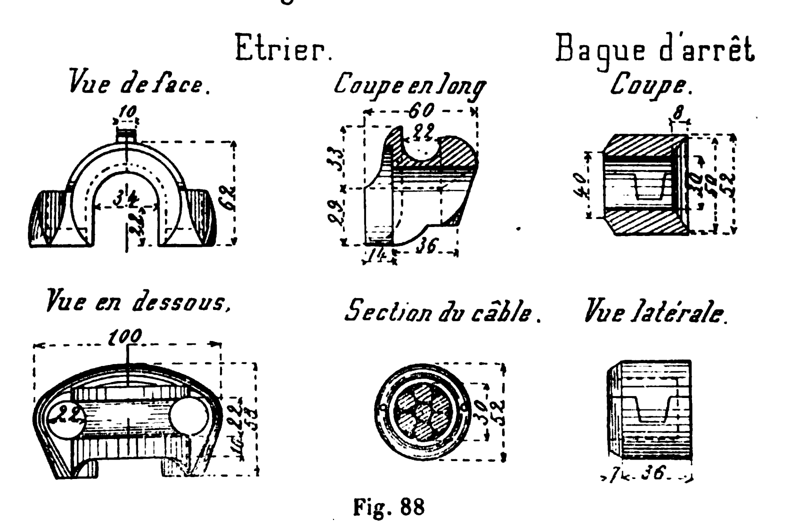
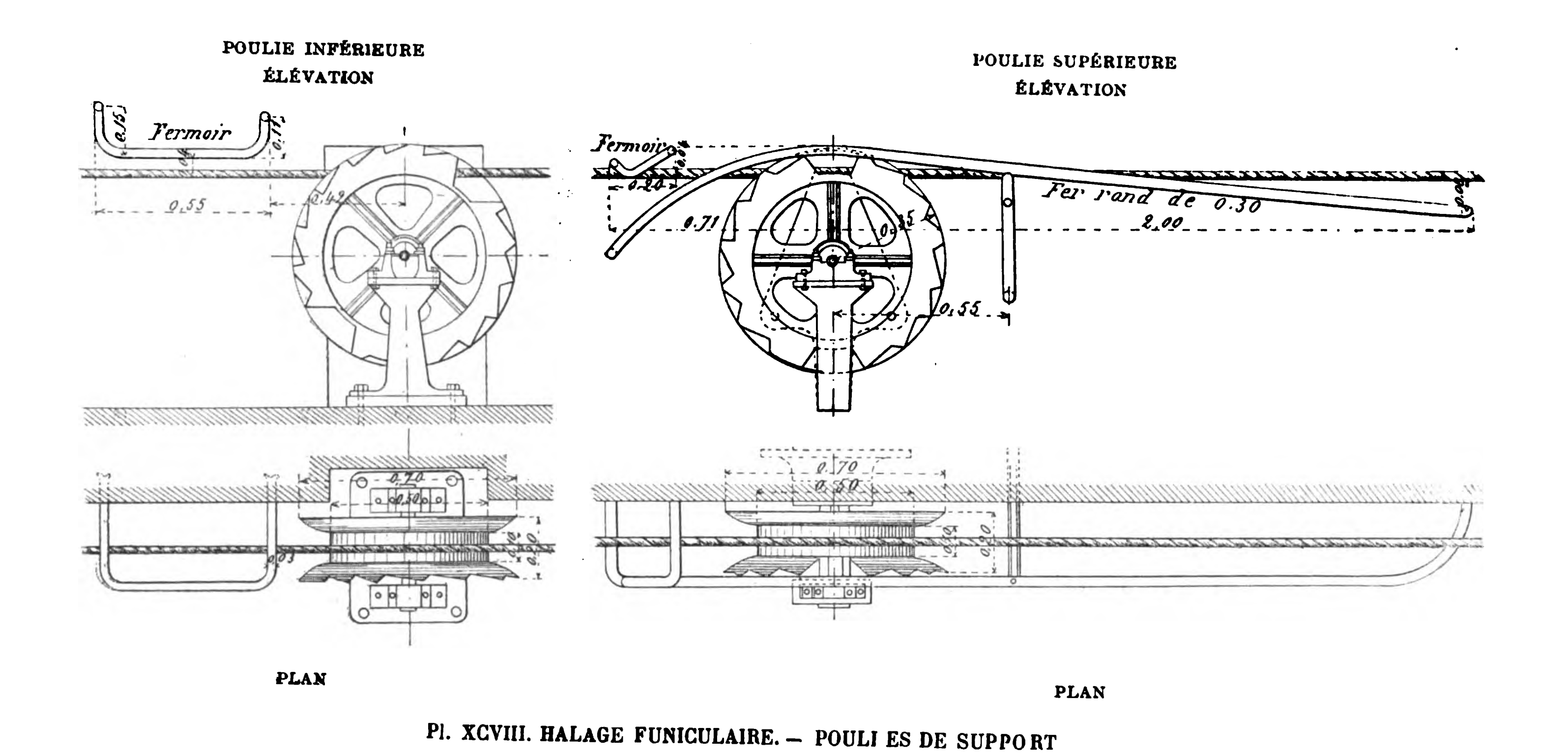


Fig. 88

D'autre part, on dispose d'étriers (fig. 88) d'un diamètre

Digitized by Google



Pl. XCVIII. HALAGE FUNICULAIRE. — POULI ES DE SUPPORT

Digitized by Google

intérieur un peu plus grand que celui du câble, qui peuvent être posés à cheval sur ce dernier. Chaque étrier porte une gorge demi-circulaire prolongée par deux conduits cylindriques par où passe la corde d'attelage (fig. 89).

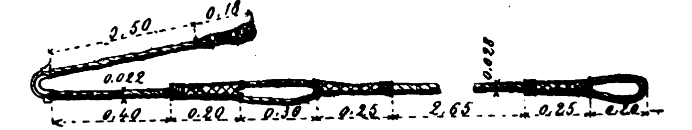


Fig. 89

Les deux bouts de la corde d'attelage étant libres, on met l'étrier à cheval sur le câble ; on passe alors la poire qui termine un des brins de cette corde dans l'œil qui est ménagé dans l'autre brin ; enfin on attache la remorque du bateau à la boucle qui termine ce même brin. L'attelage se trouve constitué, mais il suffit de la moindre résistance pour empêcher l'étrier de suivre le mouvement du câble. C'est seulement quand un des arrêts précédemment décrits vient buter contre l'étrier que celui-ci est entraîné, avec la corde d'attelage, la remorque du bateau et le bateau à la suite. Toutefois, à de très rares exceptions près, l'étrier ne suit que le mouvement de translation du câble ; comme il est, ainsi que nous l'avons expliqué, d'un diamètre un peu supérieur, le câble peut tourner à l'intérieur sans l'entraîner dans son mouvement de vrillage.

Quant au démarrage progressif du bateau il s'obtient aisément par le procédé familier aux mariniers, en laissant filer doucement la remorque sur le *boulard* autour duquel elle est enroulée.

Les dispositions adoptées au bief de partage du canal de l'Aisne à la Marne sont naturellement appropriées au genre de service qui s'y pratique et diffèrent sur certains points de celles qui avaient été admises en pleine voie sur les canaux Saint-Maur et Saint-Maurice. La navigation se faisant par convois alternativement dans un sens et dans l'autre, il n'y a pas de croisements ; les deux brins du câble ont pu être placés

Digitized by Google

sur la même rive au lieu de suivre chacun une rive différente. A raison de la section rétrécie du souterrain, la vitesse a été réduite à 0 m. 30 ou 0 m. 35 au lieu de 0 m. 75 par seconde. Comme conséquence les arrêts sont distants de 30 mètres au lieu de 120. Les bateaux qui composent les convois faisant tous la totalité du parcours, on n'a pas à se préoccuper de donner aux mariniers le moyen de s'arrêter en route et, à cet effet, de défaire l'attelage à volonté [1]. Enfin, au Mont-de-Billy, chaque convoi est accompagné d'un agent qui suit le câble pour arrêter l'enroulement de la corde d'attelage s'il tendait à se produire par suite du mouvement de vrillage.

L'exploitation du halage funiculaire en canal courant présenterait donc certaines difficultés qui ne se rencontrent pas au bief de partage du canal de l'Aisne à la Marne, mais l'expérience poursuivie sur les canaux Saint-Maur et Saint-Maurice pendant près de deux ans (de juillet 1889 au 1er juin 1891), a démontré qu'on pouvait en triompher.

Quoi qu'il en soit, l'établissement du halage funiculaire sur le canal de l'Aisne à la Marne remonte à 1894-1895 et depuis cette époque il fonctionne d'une manière absolument satisfaisante. Avec un tonnage moyen de 1.450.000 tonnes par an, le prix de revient par tonne est de 0 fr. 0141 pour le parcours total de 2.500 mètres, soit 5,64 millimes par tonne kilométrique. Avec un tonnage de 4.000.000 de tonnes, auquel les installations actuelles pourraient faire face, les prix ci-dessus tomberaient respectivement à 0 fr. 00875 et 3,5 millimes.

233. Halage par locomotives électriques. — C'est en 1895 et 1896 que les premières expériences ont été faites sur

1. Voici quel était le disposif employé, à cet effet, sur les canaux Saint-Maur et Saint-Maurice. Au sommet de l'étrier, au moyen d'un anneau *ad hoc*, est attachée une cordelette dont le marinier, après avoir attelé, emporte l'autre extrémité dans son bateau ; il suffit de tirer sur cette cordelette pour faire basculer l'étrier qui tombe ; les arrêts ne rencontrent plus que la corde d'attelage qui saute par dessus ; la traction cesse ; le bateau s'arrête et le marinier descendant sur la voie vient ensuite retirer l'étrier à la main.

Digitized by Google

le canal de Bourgogne avec le *cheval électrique* de M. l'ingénieur en chef des ponts et chaussées Galliot. Le cheval électrique est une sorte de petite locomotive routière, affectant la forme d'un tricycle, qui circule sur le chemin de halage sans rails et hâle le bateau comme le ferait une paire de chevaux. Il emprunte le courant à un conducteur fixe aérien, à l'aide d'un chariot roulant relié à la dynamo réceptrice par un conducteur flexible [1].

Une société s'est alors formée pour l'application industrielle des procédés de traction mécanique inventés par M. Galliot, et, dès 1898, un premier essai a été fait sur les canaux d'Aire et de la Deule (voies navigables du Nord et du Pas-de-Calais) sur une longueur de 26 kilomètres. Les résultats ont été jugés assez satisfaisants pour que la société ait demandé une extension de son exploitation. En vertu d'arrêtés d'autorisation, qui datent du mois de juin 1899, la traction électrique a été étendue à une longueur totale de 60 kilomètres environ.

Presque en même temps une autre application industrielle importante des mêmes procédés était faite en Belgique. Depuis le 1er janvier 1899, la Société Belge de traction électrique sur les voies navigables est adjudicataire du monopole du halage sur la partie à petite section du canal de Charleroi à Bruxelles. Sur une longueur de 20 kilomètres environ, la traction des bateaux est opérée au moyen du *cheval électrique* empruntant la force motrice à une ligne conductrice aérienne [2].

Dans cette même année 1899, un tracteur électrique sur rails d'un système étudié par la Compagnie Siemens et Halske, de Berlin, a été l'objet d'une expérience intéressante, subven-

1. Le principe de cet appareil a été indiqué par M. Galliot au Congrès international de navigation intérieure, tenu à La Haye, en 1894.

2. Le halage électrique des bateaux sur le canal de Charleroi à Bruxelles a fait l'objet de communications intéressantes aux Congrès internationaux de navigation de 1900, à Paris (Rapport de MM. les ingénieurs en chef La Rivière et Bourguin) et de 1902, à Düsseldorf (Communication de M. Léon Gérard, administrateur délégué de la Société Belge de traction électrique sur les voies navigables).

Digitized by Google

tionnée par le gouvernement prussien, sur le canal de Finow [1].

L'espace nous fait défaut pour étudier en détail les diverses entreprises ou tentatives mentionnées ci-dessus. Devant faire un choix, il est naturel que nous prenions pour exemple l'application de la traction électrique faite sur les canaux du Nord de la France. Nous nous contenterons d'ailleurs de donner quelques indications sommaires en renvoyant, comme nous l'avons fait pour les autres entreprises, le lecteur désireux d'avoir de plus amples renseignements aux documents publiés à l'occasion des divers Congrès internationaux de navigation [2].

Telle qu'elle a été organisée en conformité des arrêtés susvisés, l'exploitation s'étend de Béthune à Courchelettes, sur le canal d'Aire, le canal de la Deule et la dérivation de la Scarpe autour de Douai (52 kil.), sur le canal de Beuvry (3 kil.) et sur la Deule entre Bauvin et Don (4 kil.) soit, avec les embranchements des ports des houillères, sur une longueur totale d'à peu près 60 kilomètres (pl. XCIX, page 547).

Les arrêtés d'autorisation ont imposé à la société exploitante l'obligation de calculer la force motrice de ses usines, sa ligne de transport de force et le nombre de ses engins de traction, de manière à permettre de tractionner le trafic maximum du canal, correspondant à la capacité de débit des écluses doubles de la dérivation de la Scarpe, soit cinq bateaux à l'heure dans chaque sens.

Les fils aériens destinés à la transmission de l'énergie élec-

1. Il a été rendu compte de cette expérience au Congrès international de navigation de 1900 à Paris (Rapport de M. Köttgen, ingénieur en chef de la Compagnie Siemens et Halske). Voir aussi la communication faite par MM. Volkmann et Köttgen au Congrès international de navigation de 1902, à Düsseldorf, sous le titre : *Mechanischer Schiffszug auf Kanälen*.

2. Voir notamment les rapports de MM. les ingénieurs en chef des Ponts et Chaussées La Rivière et Bourguin aux Congrès de 1898 et de 1900, à Bruxelles et à Paris, ainsi que la communication de M. Mollard, administrateur délégué de la Société de traction électrique sur les canaux du Nord, à Paris, au Congrès de 1902, à Düsseldorf.

Digitized by Google

trique sont établis le long des chemins de halage et de contre-halage, sur lesquels les tracteurs sont admis à circuler, de manière à réaliser une voie montante sur une rive et une voie descendante sur l'autre rive, quand la continuité du contre-halage sera partout assurée.

Pendant la durée du service de nuit, les écluses et les ouvrages d'art principaux doivent être éclairés électriquement. La vitesse de marche des bateaux doit être comprise entre 2 k. 5 et 3 kilomètres à l'heure (0 m. 75 par seconde en moyenne) ; toutefois, elle doit être réduite à 1 k. 5 ou 1 k. 8 au plus à la rencontre des bateaux chargés et des trains de bois, ainsi qu'au passage des tournants brusques et des ouvrages d'art.

Le halage reste libre sur toute l'étendue des canaux considérés et la société ne jouit, en vertu de son autorisation, d'aucun monopole ni d'aucun privilège. L'autorisation est d'ailleurs essentiellement précaire et révocable, et l'Administration s'est réservé le droit de la retirer à toute époque, dans le cas où un intérêt public lui paraîtrait justifier cette mesure, sans que la société puisse prétendre à aucune indemnité.

Par contre, l'entretien des chaussées d'empierrement des chemins de halage et de contre-halage reste à la charge de l'Etat.

Enfin, le service devait être fait par la société, à ses risques et périls, de nuit comme de jour, aux prix maximums ci-après :

A la remonte,

par tonne kilométrique	de jauge possible	0 fr. 0015,
	de chargement effectif.	0 fr. 0015 ;

A la descente,

par tonne kilométrique	de jauge possible	0 fr. 0012,
	de chargement effectif	0 fr. 0012 ;

ce qui, pour un bateau à plein chargement, correspond aux prix totaux de 3 millimes à la remonte et 2,4 à la descente, par tonne kilométrique.

Digitized by Google

Pl. XCIX. TRACTION ÉLECTRIQUE SUR LES CANAUX DU NORD. — CARTE

Digitized by Google

Les installations jugées nécessaires pour satisfaire aux conditions ci-dessus comportent, indépendamment de 100 tracteurs ou chevaux électriques, des usines de production d'énergie, des lignes de transport de force et des dépôts pour le remisage des tracteurs.

Les usines, au nombre de 4, sont installées : à *Beuvry*, sur le canal d'Aire ; à *Bauvin* et à *la Batterie d'Oignies*, près Courrières, sur la Deule ; enfin à *Douai*, sur la dérivation de la Scarpe. La force totale des machines à vapeur est de 1.350 chevaux, la production totale des dynamos, de 810 kilowatts. L'usine de Douai, ville où se trouve le siège de la société, contient, en outre, les bureaux du service de l'exploitation et de l'administration, ainsi que l'atelier central de réparation et d'entretien du matériel.

Les lignes de transport de force sont placées à 5 mètres au-dessus du sol, sur les deux rives des canaux, en bordure des chemins de halage et de contre-halage.

Les dépôts, au nombre de 10, sont échelonnés tous les 6 kilomètres environ. Chacun peut contenir 10 tracteurs ; on y a aménagé un magasin pour les fournitures les plus essentielles et un bureau de surveillant, avec cabine téléphonique.

Les prix de traction rappelés ci-dessus n'étaient sans doute pas rémunérateurs puisqu'ils n'ont pas suffi pour assurer la prospérité, ni même la vitalité de l'entreprise.

Depuis les premiers mois de 1904, la Société de traction électrique sur les canaux du Nord a été, en fait, remplacée par une autre société dite *Compagnie électrique du Nord* ; mais le tarif maximum des prix de traction à percevoir a été majoré et est maintenant fixé comme il suit :

A la remonte,

par tonne kilométrique	de jauge possible	0 fr. 00175,
	de chargement effectif.	0 fr. 00225;

A la descente,

par tonne kilométrique	de jauge possible	0 fr. 00160,
	de chargement effectif.	0 fr. 00200.

Digitized by Google


LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

Le premier soin de la société nouvelle a été de faire, sur 6 kilomètres environ de longueur, un essai d'exploitation avec des tracteurs d'un nouveau type circulant sur rails (voie de 1 mètre de largeur posée sur le chemin de halage).

En effet, un point d'importance capitale paraît ressortir dès maintenant des essais industriels tentés aussi bien en Belgique qu'en France. Pour que le cheval électrique, la locomotive électrique sans rails, fonctionne dans des conditions convenables, il faut mettre à sa disposition des chaussées d'une largeur suffisante, construites et entretenues avec les mêmes soins que les meilleures chaussées d'empierrement des routes, c'est-à-dire d'une construction et d'un entretien très coûteux.

En France, l'Etat, désireux d'encourager une tentative intéressante à plus d'un titre, a consenti à prendre à sa charge la construction et l'entretien des chaussées d'empierrement des chemins de halage et de contre-halage des canaux du Nord sur lesquels la traction électrique est actuellement installée ; mais c'est là une mesure de faveur exceptionnelle, qui ne saurait se prolonger indéfiniment ni surtout s'étendre à de nouveaux parcours. Normalement, il faut compter que les frais de construction et d'entretien des chaussées empierrées seraient à la charge des entreprises de traction ; or il paraît certain que la construction et l'entretien d'une voie de fer seraient moins onéreux, surtout si on tient compte des économies qui pourraient être réalisées dans ce cas sur l'entretien et le renouvellement des tracteurs.

Quoi qu'il en soit, le tarif maximum nouveau correspond, pour un bateau à plein chargement, aux prix totaux de 4 millimes à la remonte et 3,5 à la descente, par tonne kilométrique. Ce sont très sensiblement les prix du halage par chevaux avec relais. Nous avons dit, en effet, plus haut (page 527) que ces derniers variaient pour un bateau à pleine charge : à la remonte, de 3,4 à 4,9 millimes ; à la descente, de 2,9 à 3,3 millimes.

Digitized by Google

A la vérité, le tarif nouveau ci-dessus n'est qu'un tarif *maximum*, mais, alors même que les prix *effectifs* ne présenteraient pas de réductions bien sensibles sur les prix de ce tarif, la traction mécanique aurait encore le triple avantage de la vitesse supérieure, de la régularité plus grande et surtout d'une élasticité qui permet de faire face à toutes les exigences et d'éviter les encombrements. Nous formons donc des vœux sincères pour le succès de la Compagnie électrique du Nord, à la tête de laquelle nous trouvons des noms marquants dans l'industrie du pays.

284. Halage par locomotives à pétrole. — L'installation de la traction électrique (construction d'usines pour la production de l'énergie, établissement de lignes de transport de force, etc...) exige des capitaux importants qui ne peuvent espérer trouver une rémunération que sur des voies où le mouvement est considérable. Sur les voies à faible trafic, on ne saurait y songer. En vue de permettre l'extension à ces dernières de la traction mécanique, l'inventeur du cheval électrique, M. Galliot, a eu l'idée de remplacer, sur les tracteurs, le moteur électrique par un moteur à pétrole.

La tentative est intéressante et méritait d'être signalée, mais elle ne résout pas la grave question de la construction et de l'entretien de chaussées empierrées sur les chemins de halage, la perfection de ces chaussées étant aussi nécessaire pour les locomotives routières à pétrole que pour les chevaux électriques.

En résumé, des indications que nous avons données ci-dessus au sujet de la traction mécanique des bateaux dans les canaux, indications qui, bien que toujours sommaires, n'ont pas laissé de prendre un développement notable, une double impression doit, semble-t-il, se dégager : la question est capitale, et, depuis quelques années, les efforts les plus remarquables ont été faits pour la résoudre ; mais on ne saurait encore dire qu'elle a été résolue.

Digitized by Google

§ 3

EXPLOITATION TECHNIQUE ET COMMERCIALE

235. Manœuvre des ouvrages de navigation. — En ce qui concerne la manœuvre des écluses et des ponts mobiles, des indications suffisantes ont été données en traitant de la construction de ces ouvrages. Quelques considérations spéciales aux écluses ont aussi été développées à la fin de la deuxième partie de ce cours[1].

Nous ne voyons rien de particulier à dire au sujet des manœuvres nécessaires pour assurer l'alimentation ou pour maintenir les biefs à leur tenue normale, tant au moyen des ventelles des écluses et des aqueducs de prise d'eau qu'avec les déversoirs de fond. Tout au plus y a-t-il lieu de signaler la convenance de l'établissement de communications téléphoniques entre les réservoirs ou les usines élévatoires, d'une part, et les biefs ou les groupes de biefs qui en reçoivent leur alimentation, d'autre part.

236. Police de la navigation. — Nous avons exposé dans la première partie de ce cours[2] que les règles relatives à la police de la navigation formaient la base essentielle de l'exploitation technique, en ce qui concerne les branches de cette exploitation qui sont du domaine de l'industrie privée et sur lesquelles les ingénieurs de l'Etat n'exercent qu'un droit de contrôle. Nous indiquions en même temps les actes principaux dans lesquels se trouvaient ces règles de police. La nomenclature donnée à l'époque n'est plus exacte aujourd'hui. C'est ainsi que, en ce qui concerne le *jaugeage des bateaux et les*

1. *Rivières canalisees*, page 480.
2. *Rivières à courant libre*, articles 254 et 255, pages 399 et suivantes.

Digitized by Google

pièces dont les conducteurs de bateaux doivent être porteurs, un nouveau décret, rapportant celui du 17 novembre 1880, est intervenu le 1er avril 1899, à raison de la mise en vigueur de la convention internationale pour l'unification des méthodes de jaugeage, passée le 4 février 1898 entre l'Allemagne, la Belgique, la France et la Hollande. C'est ainsi encore que les dispositions relatives à la *navigation de plaisance* sont maintenant comprises dans le décret du 8 octobre 1901 portant règlement général de police pour les voies de navigation intérieure.

L'intervention de ce décret constitue assurément une innovation des plus importantes. Il contient toutes les dispositions d'un caractère général et ne laisse plus à fixer, par des arrêtés préfectoraux portant règlements particuliers, que les dispositions tout à fait spéciales et locales. Encore, pour éviter les contradictions et les disparates, ces arrêtés préfectoraux, préparés suivant un type annexé à la circulaire ministérielle du 20 janvier 1902 accompagnant l'envoi du décret du 8 octobre 1901, ne sont-ils exécutoires qu'après l'approbation de M. le Ministre des Travaux publics.

Le décret du 8 octobre 1901 comprend dix titres, dont les en-têtes sont les suivants :

I. Conditions à remplir pour naviguer ;

II. Classement des bateaux ; trématage [1] en route ; priorité de passage aux écluses et ponts mobiles ;

III. Bateaux, trains ou radeaux en marche ;

IV. Passage aux ouvrages de navigation ;

V. Stationnement des bateaux ; mesures d'ordre dans les ports et dans les garages ;

VI. Transport en commun des voyageurs par bateaux à vapeur ou assimilés ;

VII. Navigation de plaisance ; bateaux particuliers, bateaux de pêche ou de marine ;

1. Le trématage est le fait d'un bateau qui, en cours de route, en dépasse un autre marchant dans le même sens.

Digitized by Google

VIII. Obstacles à la navigation ;
IX. Interdictions et autorisations ;
X. Dispositions générales.

Le dernier titre comprend seulement les règles de procédure, et le neuvième vise presque exclusivement la conservation des voies navigables, c'est-à-dire l'entretien ; mais les *huit* premiers constituent, pour ainsi dire, un code de l'exploitation technique.

287. Nécessité de ne laisser circuler que des bateaux en bon état. — Bien que la navigation dans les canaux soit généralement moins périlleuse qu'en rivière, il importe tout autant de n'y tolérer la présence d'aucun bateau d'une solidité insuffisante, mal entretenu ou trop âgé. Indépendamment des accidents de personnes qui pourraient être à regretter, la mise à fond d'un bateau dans un canal est, en effet, susceptible, on le conçoit de reste, d'interrompre complètement la circulation pendant nombre de jours, au grand détriment des intérêts généraux. D'autre part, le passage aux écluses de bateaux déformés peut être une source de réelles difficultés et de pertes de temps considérables.

Le règlement général de police du 8 octobre 1901 fixe, dans son article 6, les règles à suivre pour arrêter au passage les bateaux dont la circulation peut créer un danger. Leur application est, à coup sûr, toujours délicate, mais leur stricte observation se justifie par les considérations les plus sérieuses.

288. Utilisation du matériel. — La bonne utilisation du matériel soulève de nombreuses questions et tout d'abord celle de la vitesse qu'il convient de donner aux bateaux, la rapidité du parcours étant, sans aucun doute, un des facteurs les plus importants de cette utilisation.

A vrai dire, ce n'est pas sur la vitesse de marche proprement dite qu'on peut espérer gagner beaucoup. Dans les

Digitized by Google

canaux, la résistance à la traction, les frais de traction par conséquent, augmentent si rapidement avec cette vitesse que l'accélération de la marche cesse bien vite d'être avantageuse. Le point sur lequel il n'y a que des bénéfices à recueillir, le point sur lequel il importe de toujours porter une attention vigilante, c'est la suppression ou au moins l'atténuation des pertes de temps, pertes de temps au point de départ, pertes de temps en route, pertes de temps au point d'arrivée.

Les pertes de temps au départ et à l'arrivée peuvent être diminuées par les dispositions favorables et le bon outillage des ports, mais elles tiennent surtout à des causes commerciales : prolongation abusive des délais de chargement en vue de satisfaire d'abord certaines catégories de clients ; convenance pour le destinataire de transformer le bateau en un magasin, sauf à payer des jours de planche ; etc... Nous n'envisagerons ici que les pertes de temps en route. A ce point de vue on a déjà beaucoup fait, s'il reste bien à faire encore.

Nous avons signalé plus haut la tendance sinon à supprimer, du moins à abréger autant que possible, en les distribuant au mieux, les chômages fixés administrativement en vue de l'exécution des travaux d'entretien ou autres.

La navigation de nuit est maintenant autorisée moyennant certaines conditions d'équipage et d'éclairage (article 7 du règlement général de police) sur toutes les voies navigables. Le personnel des Ponts et Chaussées est tenu d'effectuer toutes les manœuvres nécessaires à cet effet, aussi bien de nuit que de jour.

On a pu voir, d'ailleurs, par toutes les explications que nous avons données au sujet de la construction, de l'entretien et de la manœuvre des ouvrages, que les ingénieurs avaient maintenant toujours en vue la recherche des moyens propres à accélérer les éclusages, le passage aux ponts fixes ou mobiles, la traversée des sections rétrécies, tunnels, ponts-canaux, etc...

239. Dispositions des abords des écluses. — En ce

Digitized by Google

qui concerne le passage aux écluses, notamment, nous avons montré que la durée des manœuvres proprement dites (remplissage et vidange du sas, fermeture et ouverture des portes) était d'ores et déjà réduite, on peut dire, au minimum ; ce qui prend le plus de temps, c'est l'approche des bateaux et leur entrée dans l'écluse, leur sortie et leur éloignement. L'attention des ingénieurs s'est également portée sur les moyens de rendre plus faciles et surtout plus rapides ces divers mouvements des bateaux.

En dehors de l'emploi de modes de traction particulièrement énergiques, le meilleur moyen de faciliter les mouvements dans l'écluse même consiste à augmenter la section mouillée de l'ouvrage, soit en abaissant les buscs et le radier comme on le fait maintenant d'une façon générale, soit en augmentant les dimensions en plan comme on l'a fait sur la dérivation de la Scarpe, sur le canal de Saint-Quentin, etc..., où la largeur a été portée de 5 m. 20 à 6 mètres et la longueur utile de 38 m. 50 à 40 m. 50.

Pour ce qui est des mouvements aux abords des écluses, nous avons déjà signalé, dans une autre partie du cours[1], en parlant des écluses en dérivation, l'avantage qu'il y avait à placer ces ouvrages, non dans l'axe, mais sur le côté de la voie navigable. On crée ainsi des garages, à la faveur desquels les bateaux qui doivent entrer dans l'écluse peuvent s'en approcher sans gêner la sortie de ceux dont ils vont prendre la place. L'expérience a démontré que la meilleure disposition consistait à ménager une certaine distance entre l'extrémité du garage et la tête de l'écluse. Sur cette distance une glissière inclinée, généralement formée par un ouvrage en charpente, guide le bateau, de manière qu'il se trouve juste dans l'axe de l'écluse lorsque son avant atteint le plan des murs de tête.

La planche C qui représente les abords des écluses acco-

1. *Rivières canalisees*, page 450.

Digitized by Google

lées du Tordoir, sur le canal de Saint-Quentin, fait connaître les dispositions aujourd'hui adoptées ; on doit considérer qu'elles constituent une amélioration des plus sérieuses au point de vue de l'exploitation.

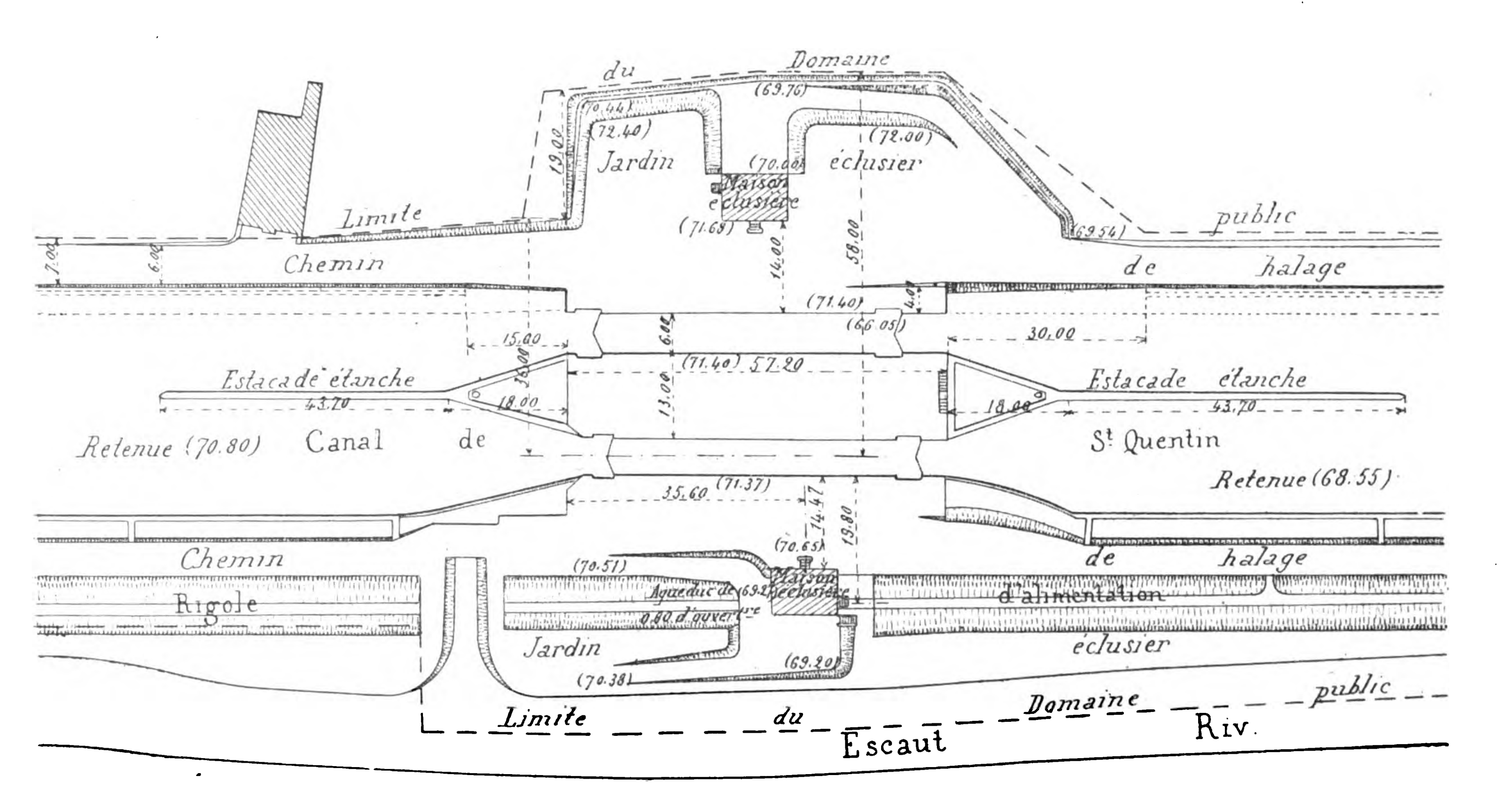
Lorsqu'il n'y avait qu'une écluse, celle de droite, les garages étaient établis sur la rive droite ; ils étaient limités latéralement, du côté de la berge, par une estacade en charpente établie à l'aplomb du pied du talus ; la glissière inclinée, mentionnée ci-dessus, était formée par un prolongement de l'estacade jusqu'au musoir correspondant de l'écluse.

Les deux écluses accolées actuelles sont séparées par un terre-plein d'une largeur suffisante (13 mètres) pour qu'on ait pu ménager tant à l'amont qu'à l'aval un double garage, un pour chaque écluse. Le stationnement des bateaux dans ces garages établis au milieu du canal ne peut gêner en quoi que ce soit le halage sur l'une ou l'autre rive. Les deux garages contigus sont séparés par une *estacade étanche,* de manière que chacun d'eux est soustrait aux mouvements d'eau pouvant résulter du jeu des ventelles de l'écluse correspondant à l'autre. La longueur des pans coupés a été réduite à 18 mètres. L'expérience a montré que cette longueur était suffisante pour un garage de 6 mètres environ de profondeur.

Les détails donnés dans la planche CI (page 558) permettent de se rendre suffisamment compte du mode de construction des estacades étanches.

240. Restrictions à la liberté de la circulation. — En principe, la circulation des bateaux sur les voies navigables est absolument libre, en France ; en fait, certaines exceptions sont indispensables dans l'intérêt général, et c'est le principal objet des règlements de police, notamment du règlement général du 8 octobre 1901, de déterminer ces restrictions au principe de la liberté absolue. Mais, s'il doit en être apporté même sur les cours d'eau naturels, combien ne seront-elles pas encore plus nombreuses sur les canaux, à rai-

Digitized by Google



Pl. C. ECLUSES DU TORDOIR SUR LE CANAL DE SAINT-QUENTIN. — GARAGES ET ESTACADES ÉTANCHES

Digitized by Google

Plan général de l'estacade aval.

15.00 Arrière-radier

Coupes verticales

suivt CD

suivt AB

Coupe horle st OP

Plan de détail du pan coupé.

Pl. CI. ÉCLUSES DU TORDOIR. — DÉTAILS DE CONSTRUCTION D'UNE ESTACADE ÉTANCHE

Digitized by Google

son des faibles dimensions transversales de ces derniers.

Voici, par exemple, le trématage en route. Sur les rivières où la navigation dispose d'un large chenal, c'est une simple question de fait ; le bateau ou le convoi qui a la marche la plus rapide dépasse le bateau ou le convoi qui a la marche la plus lente. Sur les canaux, si le bateau ou le convoi le moins rapide ne se rangeait pas, l'autre ne pourrait passer devant ; il faut donc que ce dernier ait un droit (droit de trématage) devant lequel le premier soit tenu, sous menace de sanctions pénales, de s'incliner.

Nous avons vu que, dans certaines parties des canaux où la navigation est soumise à des sujétions spéciales, biefs de partage, souterrains, ponts-canaux, etc..., l'administration avait été conduite à supprimer la liberté de la circulation et à réglementer l'exploitation, en prescrivant : le passage alternatif dans un sens et dans l'autre ; la marche en convois ; l'emploi exclusif de moyens de traction exploités par l'Etat; etc... L'organisation du halage par relais, concédé par voie d'adjudication à des entrepreneurs qui jouissent dans une certaine mesure d'un monopole, comporte aussi une atteinte au principe de la liberté de la circulation.

Au fur et à mesure que le mouvement de la navigation devient plus intense, la réglementation de la circulation et l'organisation rationnelle de l'exploitation, même en pleine voie, deviennent plus nécessaires, et lorsque ce mouvement s'approche du maximum de débit de la voie navigable, la liberté de circulation n'est plus qu'un leurre et un danger [1].

1. Cela n'est pas vrai seulement pour la circulation sur les canaux ; il est un exemple topique entre tous qui s'impose à la pensée lorsqu'on traite cette matière.

Le feu prend dans un théâtre. Aux premiers signes d'incendie, les spectateurs, absolument libres de leurs mouvements, se ruent, affolés, aux issues, les encombrent, s'y étouffent, s'y écrasent, sans que personne puisse passer. Cependant le feu gagne et le bilan de la catastrophe se chiffre par des centaines de victimes.

Au lieu de ces spectateurs, maitres absolus de leurs mouvements, cédant

Digitized by Google

Le canal de Saint-Quentin a pu, avant l'achèvement des travaux de transformation en cours qui doivent doubler son débit, faire face à un trafic effectif de plus de six millions de tonnes, de beaucoup supérieur à celui dont on l'avait jadis cru susceptible. Pourquoi? C'est qu'il s'était trouvé un ingénieur en chef expérimenté et énergique, qui avait su préparer et imposer à la batellerie des consignes souvent fort dures, mais seules susceptibles de permettre un mouvement aussi intense.

Sur les principales voies navigables du Nord et du Pas-de-Calais, il se produisait toujours, au moment de la reprise de la navigation après le chômage annuel, des encombrements dont l'influence néfaste se faisait longtemps sentir. En 1903 et en 1904, cet inconvénient a presque complètement disparu, grâce à l'application de consignes imposées à tous les bateaux et réglant leur ordre de marche d'après leur provenance, leur date de chargement, etc...

En dehors de toute autre considération, l'organisation de services réguliers de traction, surtout de services de traction mécanique, a rendu un service inappréciable, en appelant l'attention sur les avantages de mesures d'ordre qui sont la base d'une exploitation rationnelle et sans lesquelles ces services ne sauraient fonctionner ; mais, à notre avis, les progrès à faire dans cet ordre d'idées sont encore considérables.

241. Exploitation commerciale. — Ainsi que nous l'avons dit dans la première partie de ce cours[1], tout ce qui concerne l'exploitation commerciale des voies de navigation

aveuglément aux impulsions de l'instinct, mettez des soldats disciplinés, habitués à obéir à la voix de leur chef, et des chefs. Des commandements précis feraient prendre à ces soldats un ordre de marche en rapport avec les dimensions des issues ; en quelques minutes la salle serait évacuée sans que le feu ait eu le temps d'atteindre personne.

1. *Rivières à courant libre*, article 258, page 403.

Digitized by Google

intérieure est du domaine de l'industrie privée. Nous n'avons rien à ajouter aux considérations déjà émises à propos du fret et de l'affrètement.

242. Ports. — En canal, on pourra souvent se contenter d'un simple élargissement de la voie courante, laissant complètement libre la place nécessaire au passage de deux bateaux. Le garage ainsi formé pour constituer un port aura la largeur d'un bateau et une longueur égale à celle d'un nombre de bateaux variable avec les circonstances ; il pourra être bordé de perrés ou de murs verticaux, suivant la nature et l'importance du trafic à desservir.

Sur la plupart des canaux, des ports particuliers de ce genre pourront être autorisés sans inconvénient, pourvu qu'ils soient établis du côté opposé au halage. Lorsque l'importance du canal exige que le chemin de halage reste complètement libre sur les deux rives, dans toute leur longueur, ou lorsque l'établissement industriel à desservir se trouve situé du côté du halage, ce procédé n'est plus applicable ; mais on peut alors autoriser la création d'un bassin extérieur au canal, communiquant avec lui par une ouverture que ferme une passerelle de halage mobile.

Les installations de ce genre sont nombreuses dans le Nord, dans l'Est et dans toutes les régions industrielles. Quelques-unes d'entre elles, étudiées de concert par les ingénieurs et les intéressés, présentent des dispositions qui répondent parfaitement à leur objet, mais dans le détail desquelles il n'est pas possible d'entrer ici, parce qu'elles sont trop variables suivant les circonstances et la nature de chaque industrie.

A notre avis, c'est un devoir pour les ingénieurs de prêter leur concours à la création de ces installations, qui ont pour conséquence la mise en rapport de la voie navigable et, par suite, l'augmentation de la richesse publique. Et l'observation s'applique également : à l'outillage que les industriels peuvent avoir à établir le long de la voie navigable, soit dans

Digitized by Google

leurs ports particuliers, soit même dans les ports publics; aux ponts fixes ou mobiles qui peuvent leur être nécessaires pour se relier à la rive opposée ; aux prises d'eau qu'ils demandent à effectuer dans le canal pour l'alimentation de leurs machines; en un mot à tous les ouvrages dans lesquels des intérêts industriels ou commerciaux sont engagés.

Assurément, les ingénieurs ont pour première obligation de sauvegarder les intérêts généraux dont ils ont la gestion et d'assurer la conservation du domaine public, dont l'occupation ne peut d'ailleurs être consentie qu'à titre précaire et révocable et moyennant le payement d'une redevance. Mais, une fois qu'ils auront satisfait à cette obligation, ils ne perdront pas de vue le rôle assigné ci-dessus à leur action technique et administrative.

§ 4.

RÉSULTATS FINANCIERS

243. Dépenses de premier établissement. — Il va de soi que, toutes choses égales d'ailleurs, les dépenses de premier établissement d'un canal varient avec les dimensions et, par suite, le tonnage des bateaux qui peuvent y circuler.

En France, avant la loi du 5 août 1879, le type de canal le plus répandu permettait le passage de bateaux de 30 mètres environ de longueur, de 5 mètres de largeur et de 1 m. 40 de tirant d'eau maximum, portant, à cet enfoncement, un chargement utile de 150 tonnes, en nombre rond. En ce qui concerne ce genre de canaux, qu'on peut appeler canaux pour bateaux de 150 tonnes, on possède un terme de comparaison particulièrement intéressant entre les dépenses de premier établissement d'un canal et d'un chemin de fer à voie normale. Le canal de la Marne au Rhin et le chemin de fer de Paris à Strasbourg ont, en effet, été construits simultanément

Digitized by Google

et dans certaines parties côte à côte, par les mêmes ingénieurs.

Dans son ouvrage classique intitulé *Histoire critique des travaux exécutés dans les Vosges au chemin de fer de Paris à Strasbourg et au canal de la Marne au Rhin*, M. l'inspecteur général Graeff analyse et discute chacun des éléments dont se compose le prix de revient de l'une et de l'autre voie. Sans le suivre dans tous les détails, nous nous bornerons à signaler sa conclusion, à savoir : que dans la partie des dites voies à laquelle s'applique son travail, c'est-à-dire depuis et y compris la traversée des Vosges jusqu'à Strasbourg, la dépense moyenne kilométrique du chemin de fer a été de 270.000 francs et celle du canal de 180.000. « On « peut donc dire hardiment, ajoute M. Graeff, que la dépense « d'un chemin de fer est à la dépense d'un canal construit « dans les mêmes conditions dans le rapport de trois à « deux, ce qui est loin de l'égalité ».

Depuis la loi du 5 août 1879, si la largeur du bateau type est restée fixée à 5 mètres, sa longueur a été portée à 38 m. 50, son enfoncement maximum à 1 m. 80 et son chargement utile maximum à 300 tonnes environ.

Pour obtenir ce résultat, les écluses sont plus longues et les ponts plus élevés, le mouillage est augmenté de 0 m. 40 au moins, la consommation d'eau s'accroît considérablement et les moyens d'alimentation doivent être mis en rapport avec ces exigences nouvelles. Les constatations faites par M. Graeff, avec l'autorité qui s'attache à son nom, sont donc *a priori* de nature à justifier une opinion contraire à celle rapportée ci-dessus, en ce qui concerne les dépenses respectivement nécessaires pour l'établissement d'un chemin de fer et d'un canal, alors qu'il s'agit d'un canal pour bateaux de 300 tonnes.

Les canaux qui satisfont actuellement aux conditions de la loi du 5 août 1879 sont, pour la plupart, des canaux anciens transformés ; ceux qui ont été établis à neuf et de toutes

Digitized by Google

pièces dans ces conditions et qui, par conséquent, peuvent seuls fournir des indications utiles au point de vue du prix de revient, sont en petit nombre ; voici cependant quelques chiffres intéressants [1].

DÉSIGNATION des canaux	Longueur	DÉPENSES DE PREMIER ÉTABLISSEMENT			
		faites au 31 déc. 1902	restant à faire	totales	par kilom.
	kil.	francs	francs	francs	francs
Aisne à la Marne.	58	25 155.579	»	25.155.579	413.716
Ardennes. . . .	100	20.977.885	»	20.977.885	209.779
Est (Branche Sud)	160	55.224.768	375.232	55.600.000	347.500
Haute-Marne . .	73	17.040.869	»	17.040.869	233.436
Marne à la Saône.	152	70.195.638	14.804.362	85.000.000	559.210
Oise à l'Aisne. .	48	34.813.528	»	34.813.528	725.282
Tot. et moyenne.	591	223.408.267	15.179.594	238.587.861	403.702

En présence de ces chiffres, on peut, croyons-nous, affirmer qu'un canal pour bateaux de 300 tonnes coûte au moins aussi cher qu'un chemin de fer à double voie de largeur normale, établi dans les mêmes conditions de relief et de nature du sol.

Le canal de Dortmund à l'Ems nous offre un exemple, intéressant à plus d'un titre, du prix de premier établissement d'un canal pour bateaux de 600 tonnes [2]. Dans la voie navigable de caractère mixte dont l'ensemble est généralement désigné sous ce nom, il convient de considérer en particulier, bien entendu, le canal proprement dit, qui s'étend entre Herne

1. Chiffres dus à l'obligeance de la Division de la navigation au Ministère des Travaux publics.

2. Voir dans les *Annales des Ponts et Chaussées*, 1904, 3e trimestre, la notice de MM. les ingénieurs en chef La Rivière et Bourguin sur le canal de Dortmund à l'Ems.

Digitized by Google

et Dortmund d'une part et l'Ems à Gleesen, d'autre part. Cette section, longue de 149 kilomètres, a coûté 359.500 marks, soit 449.375 fr. par kilomètre.

Ce prix, remarquablement peu élevé, tient assurément à la facilité et au peu de relief du terrain qui ont permis de faire de très longs biefs sans souterrains, ainsi qu'à la simplicité de l'alimentation qui se fait naturellement sur une grande partie de la longueur. Mais il doit être aussi attribué, pour une large part, au soin avec lequel les études ont été faites, à la perfection avec laquelle les travaux ont été exécutés et surveillés. Etudes et direction des travaux ont été confiées à un personnel spécialement choisi et *très nombreux* ; les dépenses de ce chef se sont élevées à plus de 10 0/0 de la dépense totale en travaux.

C'est là un exemple à méditer et à imiter. Les économies de personnel, en matière de travaux neufs, sont absolument ruineuses.

244. Dépenses d'exploitation. — Le tableau ci-après donne, pour les canaux dont nous avons fait précédemment

DÉSIGNATION des canaux	Longueur	Entretien et réparations ordinaires	Grosses réparations et travaux neufs	Ensemble	Dépense par kilomètre
	kil.	francs	francs	francs	francs
Aisne à la Marne.	58	65.190	52.906	118.096	2.036
Ardennes. . . .	100	81.577	6.526	88.103	881
Est (branche Sud)	160	229.433	47.865	277.298	1.733
Haute-Marne . .	73	54.242	32.634	86.876	1.190
Marne à la Saône.	113	73.500	»	73.500	650
Oise à l'Aisne. .	48	55.467	»	55.467	1.155
Tot. et moyenne.	552	559.409	139.931	699.340	1.267

connaître le prix de premier établissement, les chiffres, puisés à la même source, relatifs à l'entretien (dépense moyenne annuelle pour la période décennale 1893-1902).

Ces chiffres comprennent les frais d'acquisition des matières consommées par les machines d'alimentation (les canaux considérés ne comptent pas de machines de ce genre actionnées par la vapeur), mais ils ne comprennent pas les salaires du personnel chargé d'assurer la marche de ces machines, non plus que de celui qui est préposé à la manœuvre des écluses, ponts mobiles, etc. Les dépenses de ce dernier chef peuvent varier dans des limites extrêmement étendues, suivant que ces ouvrages sont plus ou moins multipliés.

245. Prix de fret. — Les prix de fret, sur nos canaux pour bateaux de 300 tonnes, oscillent autour de 0 fr. 010 par tonne kilométrique.

§ 5.

VOIES NAVIGABLES ET VOIES FERRÉES

246. Comparaison des prix de transport par eau et par voie de fer. — S'il est une question qui ait fait couler et qui soit sans aucun doute appelée à faire couler encore des torrents d'encre, c'est assurément celle de la coexistence et du régime respectif des voies navigables et des voies ferrées. Cette coexistence est-elle justifiée ? Convient-il de poursuivre la transformation ou la création de nouvelles voies navigables ? Convient-il même de conserver celles qui existent et n'aurait-il pas mieux valu, comme l'ont demandé à certaines époques des partisans exclusifs des chemins de fer, combler les canaux pour poser des rails dans leur emplacement ?

Nous n'avons pas l'intention d'examiner ici sous toutes ses

Digitized by Google

faces cette question tant de fois traitée et cependant toujours renaissante, mais il nous semble impossible de terminer ce cours sans dire quelques mots de certains points particuliers.

Et d'abord des précautions sont nécessaires si on veut faire une juste comparaison entre les prix de transport par eau et par voie de fer.

Nous avons déjà expliqué ailleurs [1] comment, par suite du régime particulier des voies navigables en France, les prix de revient des transports par eau n'étaient pas composés des mêmes éléments que ceux des transports par voie de fer. Les premiers ne sont en effet grevés ni des frais d'entretien, de renouvellement et de manœuvre des ouvrages de navigation, ni des intérêts et de l'amortissement du capital de premier établissement. Mais, ce dont il s'agit ici, c'est des *prix effectivement payés* par le public, et le point que nous croyons important de signaler est le suivant.

Pour faire une juste appréciation de l'économie que peut, en fait, offrir le transport par eau, il ne faudrait pas comparer purement et simplement les prix respectifs par tonne kilométrique ; il faut tenir compte de l'allongement que la voie d'eau présente toujours et qui est parfois très important.

Le tableau ci-après fait connaître pour un certain nombre de villes, entre lesquelles les transports sont fort actifs, les distances respectives par rails et par eau.

On voit que l'allongement, qui est au minimum de 17 0/0 (Paris-Nancy), peut atteindre 59 0/0 (Paris-Béthune). Pour être comparés aux prix unitaires (par tonne kilométrique) pratiqués sur le chemin de fer, les prix, également par tonne kilométrique, pratiqués sur la voie d'eau doivent donc être majorés dans le rapport de l'allongement que présente cette dernière pour le parcours considéré.

1. *Rivières à courant libre*, article 268, page 423.

DÉSIGNATION des villes	DISTANCE		ALLONGEMENT	
	par rails	par eau	absolu	relatif
	kilom.	kilom.	kilom.	
Paris (la Villette) Dunkerque. . . .	305	451	146	0 48
— Calais.	295	454	159	0 54
— Béthune.	231	368	137	0 59
— Valenciennes. . .	250	315	65	0 26
— Rouen.	140	220	80	0 57
Paris (la Tournelle) Nancy	353	414	61	0 17
— Dijon.	315	398	83	0 26
— Lyon (Bourgogne)	512	639	127	0 25
— Lyon (Bourbonn.)	507	643	136	0 27

217. Avantages et inconvénients respectifs de la voie d'eau et de la voie ferrée. — L'économie que peut procurer la voie d'eau, étant ainsi ramenée à sa juste valeur, sera d'autant plus appréciable que le parcours sera plus long. Une économie réelle de 0 fr. 01 par tonne kilométrique sur un trajet de 100 kilomètres, soit de 1 franc pour la totalité du parcours, aura généralement peu d'influence sur le sort de la marchandise ; il en sera tout autrement si, le parcours étant de 1.000 kilomètres, l'économie totale s'élève à 10 francs.

D'autre part, cette économie de 10 francs elle-même peut avoir une importance relative très différente suivant la valeur de la marchandise. S'il s'agit d'une marchandise précieuse, une réduction de 10 francs dans le prix de revient restera insignifiante ; s'il s'agit de marchandises de peu de valeur au contraire, de houille, de matériaux de construction, de minerais, d'engrais, cette réduction peut avoir une influence décisive, assurer à la marchandise des débouchés dont elle serait privée sans cela.

Digitized by Google

On voit donc immédiatement que les transports par eau sont surtout avantageux pour les longs parcours et les marchandises de peu de valeur.

La voie ferrée a pour elle le triple avantage de la rapidité, de la régularité, de la facilité d'expédier la marchandise par petites parties.

Le chemin de fer est incontestablement plus rapide, moins cependant qu'on ne serait porté à le croire *a priori*, les tarifs spéciaux, les seuls appliqués en pratique, stipulant toujours, comme contre-partie des réductions de taxes consenties, une augmentation très notable des délais de livraison. C'est ainsi qu'entre Paris et Lyon, la Compagnie générale de navigation H. P. L. M. a organisé un service accéléré [1] par lequel la durée du transport est d'environ 11 à 12 jours ; ce sont là des chiffres comparables à ceux que comporte l'usage de la voie ferrée, avec les tarifs spéciaux.

La régularité, qui est peut-être plus importante encore que la rapidité, appartient aussi sans conteste à la voie ferrée, beaucoup moins soumise que la voie d'eau aux influences atmosphériques, aux cas de force majeure. Sur cette dernière, la pénurie d'eau en été, les grandes crues en hiver, les tempêtes, les brouillards, la gelée sont autant de causes de retard survenant à l'improviste et entraînant, par suite, des irrégularités, sans compter les chômages administratifs qui eux, au moins, ont l'avantage de pouvoir être prévus.

Enfin, pour beaucoup de consommateurs, l'arrivée de la marchandise par bateaux complets excède notablement les besoins de la consommation, auxquels se plie beaucoup mieux la livraison par wagons.

Lenteur dans les transports, défaut de régularité dans les arrivages, obligation de recevoir de grandes quantités à la

1. Ce service se fait normalement par la ligne de Bourgogne ; c'est seulement quand cette dernière est fermée, soit par un chômage, soit par un accident, que le service accéléré emprunte la ligne du Bourbonnais.

Digitized by Google

fois, se traduisent pour l'usager de la voie d'eau par l'obligation de faire des approvisionnements plus considérables, plus longtemps à l'avance, et par conséquent d'immobiliser dans ces approvisionnements un capital plus important. Il peut y avoir là une perte d'intérêts qui compense dans une certaine mesure l'économie réalisée sur le prix du transport.

Par contre, le bateau a l'avantage de pouvoir accoster au plus près du point où la marchandise est produite ou consommée ; dans certains cas, il constitue un magasin commode et économique ; dans d'autres, il offre des facilités exceptionnelles pour le logement et l'arrimage de la marchandise : par exemple, pour certains produits de l'industrie métallurgique que leur volume ou leur poids ne permettent pas de transporter sur wagons [1] ; pour les grains qui peuvent être transportés en vrac, ce qui permet d'éviter les frais, les ennuis et les pertes souvent importantes auxquels donne lieu l'emploi des sacs ; etc...

En résumé nous croyons pouvoir dire que, toute balance faite de leurs avantages et de leurs inconvénients, les voies navigables rendent les plus grands services même à côté des chemins de fer, partout où le mouvement commercial et industriel est suffisamment important.

248. Objections au régime actuel des voies navigables, en France. — Actuellement, en France, l'Etat fournit gratuitement la voie d'eau et prend en outre à sa charge les frais d'entretien, de renouvellement et de manœuvre des ouvrages de navigation. Ce régime des voies navigables ou, pour employer une expression très usitée en dehors de nos frontières, cette politique de l'Etat français en matière de voies navigables ne laisse pas de soulever des critiques, parmi lesquelles deux surtout reviennent avec une fréquence et une insistance particulières.

1. C'est ainsi, par exemple, que les gros canons de marine fondus à Ruelle, ne peuvent gagner Rochefort que par la Charente.

Digitized by Google

La première, qui pose une question de justice distributive, est formulée comme il suit. Les voies navigables ne peuvent exister et, en fait, n'existent que dans certaines parties du territoire ; il n'est pas juste que les contribuables du pays tout entier subviennent à leur établissement et à leur entretien, et pour accentuer encore l'objection on ajoute souvent : les départements qui profitent des voies navigables sont les départements de plaines, les départements les plus riches ; ceux qui les payent sans en profiter sont les départements montagneux, les départements les plus pauvres. La réponse nous paraît facile.

Nous vivons sous le régime de l'Etat-Providence. On peut le regretter ou s'en réjouir, mais il est impossible de le contester; on doit même reconnaître que la tendance est manifeste à l'accentuation de ce régime. Chaque année plus lourde, la dîme est prélevée sur les revenus individuels pour être répartie au mieux (telle est la formule) des intérêts de la collectivité. Peut-on exiger de cette répartition qu'elle se traduise par des attributions identiques sur tous les points du territoire ? Evidemment non. Pas plus qu'on ne saurait établir des canaux de navigation dans les massifs escarpés des Alpes ou des Pyrénées, on ne saurait corriger des torrents en Beauce ou reboiser des montagnes en Flandre. Tout ce qu'on peut demander c'est que la répartition en question se traduise par des attributions équitables, en harmonie avec les besoins locaux, en rapport avec les prélèvements faits sur chaque contrée. Or, si dans les départements montagneux, les départements pauvres, on considère notamment le coût des chemins de fer qu'on y établit et le montant de leurs recettes, on reconnaîtra que ce sont bien les mieux partagés, ce dont nous sommes d'ailleurs loin de nous plaindre.

La seconde objection vise les intérêts du Trésor. Comment, dit-on, comment l'Etat, qui a solidarisé ses intérêts avec ceux des Compagnies de chemins de fer par les conventions que

Digitized by Google

l'on sait, peut-il raisonnablement créer et entretenir à ses frais des moyens de transport concurrents, des voies navigables en antagonisme avec les voies ferrées ?

C'est encore la considération de l'Etat-Providence qui nous fournira la réponse. L'Etat est dans son rôle de Providence en subventionnant toutes les entreprises d'utilité générale, tous les services publics qui lui paraissent dignes d'intérêt. Il subventionne les routes et les chemins ; il subventionne les chemins de fer d'intérêt général, les chemins de fer d'intérêt local, les tramways ; il subventionne la navigation maritime ; il subventionne la navigation intérieure ; qu'il s'établisse demain des services de *dirigeables*, il subventionnera la navigation aérienne ; c'est dans la force même des choses. Il n'y a rien de contraire à la raison à ce que l'Etat-Providence contribue de ses deniers, ou plus exactement de ceux des contribuables, au développement de voies de communication de différentes natures et même concurrentes. Il n'y a qu'une question de mesure [1], de juste appréciation de l'utilité respective.

On peut, selon nous, faire une objection bien plus sérieuse au régime qui met exclusivement à la charge du Trésor tous les travaux de création, de transformation et de perfectionnement des voies navigables, c'est qu'il écarte les capitaux privés des entreprises de cette nature. Or, voici ce qui peut arriver et ce qui arrive en fait. Le développement de cette portion de l'outillage national, dépendant entièrement de la situation budgétaire, se trouve suspendu lorsque cette situation est fâcheuse, alors précisément que le développement du dit

1. Il résulte d'un intéressant article publié par M. l'ingénieur en chef des Ponts et Chaussées Charguéraud dans la *Revue politique et parlementaire* (nº du 10 juin 1902) que l'Etat n'a pas spécialement favorisé les canaux par rapport aux chemins de fer.

On y lit, en effet, que les charges des contribuables correspondent sur les canaux à 0 fr. 0144 et sur les chemins de fer à 0 fr. 0143 par tonne kilométrique transportée.


Digitized by Google

outillage pourrait contribuer à l'augmentation de la prospérité générale et améliorer la situation budgétaire. Il y là un cercle vicieux que l'administration des Travaux publics cherche depuis longtemps à briser.

Dès 1890, M. Yves Guyot, alors Ministre des Travaux publics, présentait un projet de *Loi sur la navigation intérieure* dont le principal objet était la création, sous le nom de *Chambres de navigation*, d'organismes nouveaux qui auraient apporté à l'Etat, pour l'exécution des travaux de navigation, le concours des intéressés, sauf à se rémunérer de ce concours au moyen de l'établissement de péages sur les voies nouvelles ou transformées.

Ce projet de loi fut très mal accueilli par la batellerie et aucune suite ne lui fut donnée ; mais l'idée était juste, elle a fait son chemin et elle a déjà reçu plusieurs applications, avec cette seule différence que ce sont les Chambres de commerce qui jouent le rôle assigné dans le projet de loi aux Chambres de navigation.

Le 3 juillet 1900 est intervenue une loi portant établissement de péages sur le canal de la Marne à la Saône, pour couvrir les charges d'un emprunt de cinq millions de francs contracté par la Chambre de commerce de Saint-Dizier, en vue de concourir à l'achèvement de ce canal.

Tout récemment, la loi du 28 décembre 1903, *tendant à compléter l'outillage national par l'exécution d'un certain nombre de voies navigables nouvelles, l'amélioration des canaux, des rivières et des ports maritimes*, prévoit pour l'exécution de nouvelles voies navigables, une dépense de 176.900.000 fr. dont les intéressés doivent fournir la moitié à l'Etat, sauf à récupérer leurs avances au moyen de péages.

249. Y a-t-il toujours et forcément antagonisme entre les intérêts de la voie navigable et ceux de la voie ferrée ? — Le point est particulièrement délicat et nous connaissons les railleries auxquelles s'exposent ceux

Digitized by Google

qui recommandent le concours (et non la concurrence) des transports par eau et des transports par fer. Mais voici comment, à notre avis, la question doit être posée et comment nous l'avons trouvée magistralement posée, il y a bien des années déjà, dans certain rapport du Conseil d'administration de la Compagnie Hollandaise des chemins de fer Rhénans, à une assemblée générale d'actionnaires. Le document n'est plus entre nos mains, nous ne saurions même en fixer la date ; mais à défaut des termes précis, le sens exact de la déclaration faite est resté gravé dans notre mémoire.

Il s'agissait, à l'époque, de transformer, dans le sens d'une large amélioration, le canal d'Amsterdam au Wahal, c'est-à-dire la voie d'eau directement concurrente aux chemins de fer Rhénans, et cependant le rapport en question exprimait un vœu formel en faveur de cette entreprise. *Nous souhaitons vivement que la transformation du canal soit effectuée le plus tôt possible*, y était-il dit en substance, *parce que nous considérons qu'elle doit développer dans une grande proportion la prospérité du port d'Amsterdam ;* **or quand le trafic du port d'Amsterdam sera considérable, il y en aura pour tout le monde,** *aussi bien pour la voie de fer que pour la voie d'eau.*

Est-ce trop demander, ne disons pas aux partisans des chemins de fer, tout le monde est partisan des chemins de fer, mais aux adversaires de la navigation ; est-ce trop leur demander que de bien vouloir reconnaître que, dans certains cas, l'existence d'une voie navigable a pu permettre à certaines régions d'atteindre un degré de prospérité qu'elles n'auraient pas connu sans cela ? Et, dans un cas de ce genre, les chemins de fer ne bénéficient-ils pas de ce maximum de prospérité ? A l'appui de cette manière de voir, nous sommes heureux de pouvoir invoquer un témoignage d'aussi haute autorité que celui de M. Alfred Picard ; voici ce qu'on lit textuellement dans son *Traité des chemins de fer* (tome I[er], pages 350 et 351).

« Par les facilités qu'ils offrent au transport des marchan-

« dises pondéreuses, les canaux contribuent puissamment à « développer le mouvement industriel et la richesse du pays. « Les exemples de leur influence abondent; l'un des plus « frappants est celui du canal de la Marne au Rhin. Cette « belle voie de navigation, juxtaposée, sur une grande partie « de sa longueur, au chemin de fer de Paris à Strasbourg, « a donné un essor véritablement prodigieux à l'industrie « minérale, salicole et sidérurgique, dans notre beau pays de « Lorraine. Les minerais qui dormaient sous terre depuis « des siècles ont été arrachés à leur sommeil séculaire ; les « usines sont comme sorties de terre, s'amoncelant les « unes contre les autres, entre le canal qui leur apporte les « matières premières et le chemin de fer qui emporte leurs « produits. Ce ne sont que mines, forges, haut-fourneaux, « salines et carrières se succédant presque sans interruption « dans la banlieue de Nancy ; *à elle seule, la voie ferrée eût « difficilement engendré cette situation merveilleuse*. Il y a eu « là, comme il y a eu sur d'autres points du territoire, une « transformation radicale de la face du pays, un développe- « ment d'activité et, par suite, de la richesse, dont la France « profite largement, dont le Trésor lui-même recueille le béné- « fice sous mille formes diverses et qui doit fournir une ample « compensation des charges de premier établissement et « d'entretien ».

« *Les mêmes faits et les mêmes résultats doivent se pro- « duire ailleurs.* »

Que de pareils exemples ne soient pas fréquents, sans doute ; qu'il ne faille pas se laisser aller trop facilement à l'espoir de renouveler dans telle ou telle région de semblables merveilles, nous sommes d'accord. Mais il suffit que des faits de cette nature puissent être cités, que des résultats aussi magnifiques puissent être constatés pour permettre d'affirmer que les voies de navigation intérieure peuvent et doivent, dans l'intérêt général, conserver leur place à côté des chemins de fer.

Digitized by Google

250. Transformations nécessaires. Conclusion. — Mais pour pouvoir être ainsi, dans certain cas, un élément exceptionnel de prospérité, il faut que la voie navigable s'approprie, suivant les lieux et les temps, aux besoins sans cesse changeants du commerce et de l'industrie.

La loi du 5 août 1879 qui a unifié le réseau français, qui a ouvert toutes les voies principales à la péniche de 300 tonnes, a marqué assurément un progrès considérable à l'époque. Est-ce à dire qu'elle a fixé *ne varietur* le type des canaux dans notre pays ? Non, répondrons-nous sans hésiter ; et si le véritable instigateur, sinon l'auteur, de la loi de 1879, si l'éminent ingénieur que fut Auguste Bertin, dont nous nous honorons d'avoir reçu les leçons, pouvait encore faire entendre sa voix, ce n'est certes pas lui qui nous contredirait.

La loi de 1879 date de vingt-cinq ans ; or, au temps où nous vivons, il n'en faut souvent pas tant pour qu'une industrie soit obligée, sous peine de ruine, de modifier complètement son outillage. L'industrie des transports n'échappe pas plus que les autres à cette nécessité inéluctable ; et, si nous considérons les chemins de fer ou la navigation maritime, nous constatons des progrès ininterrompus, des transformations incessantes, progrès et transformations aboutissant toujours invariablement à l'augmentation des dimensions et, par suite, de la capacité des véhicules.

Il y a vingt-cinq ans le chargement maximum des wagons ne dépassait pas 10 tonnes ; aujourd'hui on construit des wagons de 50 tonnes.

En ce qui concerne les transports maritimes, point n'est besoin de citer de chiffres, chacun sait que les dimensions et le tonnage des navires ont augmenté dans d'énormes proportions et continuent toujours à croître.

L'antique péniche, avec son tonnage restreint et ses formes antirationnelles, aurait-elle donc la prétention de rester seule immuable ? Si tel était l'état d'esprit des usagers de nos voies d'eau, il ne nous resterait plus qu'à leur adresser en

Digitized by Google

manière de salut la phrase fameuse : « Frères, il faut mourir ». Mais, la batellerie a donné trop de preuves de vitalité pour que son trépas soit à redouter, et on ne doit pas oublier avec quelle rapidité elle a transformé son matériel au fur et à mesure de l'application de la loi de 1879. Il faut donc envisager résolument l'éventualité d'une évolution nouvelle comportant l'emploi d'un matériel plus puissant, comportant la construction de canaux pour bateaux de 500 à 600 tonnes ; la plupart de nos rivières canalisées sont d'ores et déjà en état de leur donner passage.

Ce n'est pas qu'il entre dans notre pensée de préconiser un remaniement immédiat et complet de notre réseau de canaux ; on ne saurait songer à une pareille entreprise ; mais nous croyons que, toutes les fois que les circonstances s'y prêteront et que l'importance du trafic à espérer le justifiera, ce sont des canaux à grande section qu'on sera désormais amené à construire.

On objectera peut-être que la dépense sera plus forte et que, dans le nouveau régime inauguré par les lois du 3 juillet 1900 et du 28 décembre 1903, les taxes de péage à acquitter par la marchandise seront plus élevées.

Sans doute, la dépense sera plus forte ; mais moindre dépense n'est pas toujours économie ; il est infiniment préférable de dépenser plus pour un travail utile, que moins pour un travail qui serait condamné à la stérilité.

Sans doute, les taxes à acquitter par la marchandise seront plus élevées ; mais qu'importe, si la réduction obtenue sur le prix de revient du transport dépasse notablement la majoration des taxes.

Ces deux propositions se trouvent énoncées dans le rapport d'une Commission instituée en 1900 pour examiner divers projets d'aménagement du Rhône, au triple point de vue de la navigation, de l'agriculture (irrigation) et de l'industrie (création de forces motrices). La Commission avait eu principalement à envisager l'éventualité de l'éta-

Digitized by Google

blissement d'un canal latéral au Rhône entre Lyon (embouchure de la Saône canalisée) et Arles (terminus du canal projeté de Marseille au Rhône) ; elle s'est nettement prononcée pour le canal à grande section, susceptible de donner passage aux chalands actuels du Rhône, lesquels portent 400 tonnes de marchandise à 1 m. 40 d'enfoncement et en porteraient aisément 500 à 600 à l'enfoncement de 1 m. 80. Il a été établi qu'avec le canal à petite section la marchandise ne pourrait payer les taxes de péage nécessaires, tandis qu'avec le canal à grande section elle pourrait en supporter allègrement la charge, plus lourde cependant.

Objectera-on enfin l'obligation du transbordement au point de soudure de voies de gabarit différent ; nous répondrons qu'à notre avis, en matière de transports, si la crainte du transbordement est le commencement de la sagesse, elle n'en est pas le dernier mot.

Tout d'abord, quand on parle de transbordement, il ne faudrait pas toujours envisager la marchandise pour laquelle il a le plus d'inconvénients, la houille ; pour d'autres marchandises, comme toutes celles qui sont en ballots, en caisses ou en fûts, le transbordement est sans inconvénients ; pour d'autres encore, comme les céréales en vrac, on pourrait valablement soutenir qu'il est salutaire. Dans tous les cas, le coût du transbordement est un élément du prix de revient comme les autres et, s'il reste inférieur aux économies que le transbordement permet de réaliser sur ces autres éléments, l'opération devient avantageuse. Ne voit-on pas dans l'exploitation des chemins de fer, malgré l'uniformité de la voie, faire constamment des transbordements, notamment pour former des wagons complets de marchandises ayant même destination.

Notre conviction absolue est donc que, pour la navigation intérieure comme pour les autres industries de transport, l'augmentation de la capacité des véhicules et, à cet effet,

Digitized by Google

des dimensions de la voie s'impose[1] et doit être poursuivie dans la limite du possible.

Aussi, au moment de tirer le trait final au bas de la dernière page de la troisième et dernière partie de ce cours, exprimons-nous bien sincèrement le vœu que les indications qu'il donne cessent le plus tôt possible d'être d'accord avec la situation réelle du réseau des voies navigables en France. Ce vœu, nous le formons dans l'intérêt du développement non seulement de la batellerie, mais encore du commerce, de l'industrie et, pour tout dire en un mot, de la prospérité de notre pays.

1. Un argument topique à l'appui de cette manière de voir est fourni par ce qui se passe aujourd'hui aux Etats-Unis, notamment à propos du canal Erié. Ce canal ne peut, actuellement, donner passage qu'à des bateaux de 98 pieds (29 m. 89) de long sur 17 1/2 pieds (5 m. 3375) de large, portant 240 tonnes à l'enfoncement maximum de 6 pieds (1 m. 83). Une loi du 7 avril 1903 a ordonné la transformation du canal, en lui assignant des dimensions telles qu'il pourra permettre la circulation de bateaux mesurant 150 pieds (45 m. 75) de longueur, 25 pieds (7 m. 625) de largeur et 10 pieds (3 m. 05) de tirant d'eau, ***susceptibles d'un chargement utile de 1000 tonnes***.



LAVAL.— IMPRIMERIE PARISIENNE, L. BARNÉOUD & Cie.

Digitized by Google

Digitized by Google

ENCYCLOPÉDIE DES TRAVAUX PUBLICS (*suite*)

OUVRAGES DE PROFESSEURS A L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES

M. Aguillon. *Législation des mines, française et étrangère.* 40 fr. On vend séparément :
— La *Législation en France, dans les colonies et protectorats*, 2e édition (très augmentée), 1 très fort volume (1.011 pages) .... 25 fr.
— Les *Législations étrangères* .... 15 fr.
M. Pelletan. *Lever des plans et nivellement souterrains* (Voir ci-dessus : *Durand-Claye*).
M. Chesneau *Lois générales de la Chimie*. 1 vol. avec 37 figures .... 7 fr. 50
MM. Vicaire et Maison. *Cours de Chemins de fer de l'Ecole des Mines*; 582 p, 493 fig. 20 fr.

OUVRAGE D'UN PROFESSEUR A L'ÉCOLE NATIONALE FORESTIÈRE

M. Thiéry. *Restauration des montagnes*, avec une *Introduction* par M. Lechalas père. Vol. de 442 pages, avec 173 figures .... 15 fr.

OUVRAGES DE DIVERS AUTEURS

M. Emile Bourry, ingénieur des Arts et Manufactures, *Traité des Industries céramiques*, 1 vol. Voir *Encyclopédie industrielle*. Cet ouvrage, devenu classique en France, a été traduit en anglais .... 20 fr.
M. Charpentier de Cossigny, ingénieur civil des mines, lauréat de la Société des agriculteurs de France. *Hydraulique agricole*. 2e édit., 1 vol., avec 160 figures..... 15 fr.
M. Degrand, inspecteur général honoraire des ponts et chaussées. *Ponts en maçonnerie* (Voir ci-dessus : *J. Résal*).
M. Doniol, inspecteur général des ponts et chaussées en retraite. *Réglementation des chemins de fer d'intérêt local, des tramways et des automobiles* 1 vol. avec figures.. 10 fr.
— *Complément à l'ouvrage ci-dessus* (1900 à 1903) .... 3 fr.
M. le Dr Duchesne, ancien président de la Société de médecine pratique. *Hygiène générale et Hygiène industrielle*, ouvrage rédigé conformément au programme du *Cours d'hygiène industrielle* de l'Ecole centrale. 1 vol. de 740 pages, avec figures..... 15 fr.
M. Henry (Ernest), Inspecteur général des ponts et chaussées. *Théorie et pratique du mouvement des terres, d'après le procédé Bruckner*. 1 vol., 2 fr. 50.— *Ponts métalliques à travées indépendantes : formules, barèmes et tableaux*. 1 vol. de 639 pages, avec 267 figures, 20 fr.— *Traité pratique des chemins vicinaux*, volume de près de 800 pages (1). 20 fr.
M. Maurice Koechlin, ingénieur. *Applications de la statique graphique*. 1 vol., avec 311 figures et 1 atlas de 34 planches, seconde édition, revue et très augmentée.... 30 fr.
M. Lallemand, ingénieur en chef des mines. *Nivellement de précision* (Voir ci-dessus *Durand-Claye*).
M. Lavoinne. *La Seine maritime et son estuaire*, 1 vol., avec 49 figures.......... 10 fr.
M. Lechalas père, inspecteur général des ponts et chaussées. *Hydraulique fluviale*. 1 vol., avec 78 figures. 17 fr. 50. — *Des conditions générales d'établissement des ouvrages dans les vallées* (Voir ci-dessus : *J. Résal et Degrand*; c'est l'introduction à leur *Traité des Ponts en maçonnerie*).
M. Lechalas fils, ingénieur en chef des ponts et chaussées. *Manuel de droit administratif*. Tome I, 20 fr.; tome II, 1re partie, 10 fr. ; tome II, 2e partie .... 10 fr.
M. Lévy-Lambert, ingénieur civil, inspecteur de l'exploitation à la Compagnie du Nord. *Chemins de fer à crémaillère*. 1 vol., avec 79 figures. 15 fr. — *Chemins de fer funiculaires, Transports aériens*. 1 vol., avec 150 figures .... 15 fr.
M. Leygue, ancien ingénieur auxiliaire des travaux de l'Etat, agent-voyer en chef de la province d'Oran. *Chemins de fer. Notions générales et économiques*. 1 vol. de 617 pages, avec figures .... 15 fr.
M. E. Pontzen, ingénieur civil (l'un des auteurs de *Les chemins de fer en Amérique*) : *Procédés généraux de construction : Terrassements, tunnels, dragages et dérochements*. 1 vol. de 572 pages, avec 234 figures (médaille d'or à l'Exposition de 1900).... 25 fr.
M. Tarbé de Saint-Hardouin, inspecteur général des ponts et chaussées, ancien directeur de l'Ecole de ce corps. *Notices biographiques sur les ingénieurs des ponts et chaussées*. un vol .... 5 fr.

(1) Le second de ces ouvrages rend très faciles et d'une rapidité inespérée les calculs relatifs aux ponts métalliques à travées indépendantes. — Le troisième est un guide d'une utilité journalière pour les agents-voyers de tout grade ; l'auteur est président de la commission des chemins vicinaux au Ministère de l'Intérieur.

Chaque ouvrage se vend séparément (et aussi chaque volume des ouvrages qui en comprennent plusieurs). Il n'y a pas de numérotage général des volumes formant la collection.

Les ouvrages entrant dans les *Encyclopédies des Travaux publics et Industrielle* sont en vente chez Ch. Béranger et chez Gauthier-Villars.

Digitized by Google

ENCYCLOPÉDIE INDUSTRIELLE

Vol. grand in-8°, avec de nombreuses figures

Exploitation technique des Chemins de fer, par A. Schœller et A. Fleurquin, 1 vol. de 408 pag. avec 109 figures. 12 fr.

Calcul infinitésimal à l'usage des Ingénieurs, par E. Rouché et L. Lévy, 2 vol. de 557 et 829 p. Chaq. vol....... 15 fr.

Cours de géométrie descriptive de l'Ecole centrale, par C. Brisse, prof. de ce cours, et H. Picquet......... 17 fr. 50

Construction pratique des navires de guerre, par A. Croneau, ing. des const. navales, prof. à l'Ecole du Génie marit., 2 vol. (996 pages et 664 figures) et 1 bel atlas double in-4° de 11 pl., dont 2 en 3 coul........................... 33 fr.

Verre et verrerie, par Léon Appert, président de la Société des Ingénieurs civils, et J. Henrivaux, directeur de la manufacture de St-Gobain. 1 vol. et 1 atlas. 20 fr.

Blanchiment et apprêts; teinture et impression, matières colorantes, 1 vol. de 674 p., avec 368 fig. et échantillons de tissus imprimés, par Guignet, Dommer et Grandmougin (de Mulhouse)...... 30 fr.

Éléments et organes des machines, par A. Gouilly, répétiteur de mécanique appliquée à l'Ecole centrale, 1 vol. de 410 pages, avec 710 figures.......... 12 fr.

Les associations ouvrières et les associations patronales, par Hubert-Valleroux, avocat. 1 vol. de 361 pages 10 fr.

Traité pratique des ch. de fer (intérêt local) **et des Tramways**, par P. Guédon. 11 f.

Traité des Industries céramiques, par Emile Bourry, ingénieur des Arts et Manufactures. 1 vol. de 755 pages avec 349 fig. ou groupes de fig. et une planche (Cet ouv. a été traduit en angl.). 20 fr.

Le vin et l'eau-de-vie de vin, par Henri de Lapparent, insp. gén. de l'agriculture. 1 vol. de 545 p., 110 fig. et 28 cartes 12 fr.

Métallurgie générale : Procédés de chauffage, par Le Verrier, 1 vol. de 370 pages avec 171 figures........... 12 fr.

La Betterave agricole et industrielle, par Geschwind et Sellier, 1 vol. avec 129 figures (méd. d'arg. soc. nat. d'agr. et méd. d'or des agric. de France)........ 20 fr.

Cours de chemins de fer de l'Ecole des Mines, par Vicaire et Maison.... 20 fr.

Chimie organique appliquée, par A. Joannis, professeur à la Faculté des Sc. de Paris. 1406 p. en 2 vol....... 35 fr.

Traité des machines à vapeur, à gaz, à pétrole et à air chaud, par Alheilig et Roche, ingénieurs des constructions navales. 2 vol., 693 figures......... 38 fr.

Chemins de fer. Superstructure, par E. Deharme (Voir: *Encyc. des Travaux publics*).

Chemins de fer: Résistance des trains. Traction par E. Deharme, professeur à l'Ecole centrale, et A. Pulin, ingénieur de la Cie du Nord................... 15 fr.

Chaudières de locomotives, par les mêmes, 130 fig. et 2 pl.......... 15 fr.

Locomotives : *Mécanisme, Châssis, Types de machines*. 1 fort vol. avec un bel atlas de 18 pl. double in-4°, par les mêmes. 25 fr.

Electricité industrielle, 2e éd., v. de 826 p., 404 fig. (C. de M. Monnier à l'Ec. Cent.) 25 fr.

Machines frigorifiques, par Lorenz, professeur à la faculté de Halle; traduction de Petit, professeur à la faculté des sciences de Nancy, et Jaquet, 131 fig... 7 fr.

Industries du sulfate d'aluminium, des aluns et des sulfates de fer, par L. Geschwind, ingénieur-chimiste. 1 vol. avec 195 fig. Traduit en anglais.. 10 fr.

Accidents du travail et assurances contre ces accidents, par G. Féolde (Méd. d'arg. Exp. 1900), 1 vol. de 646 p. 7 fr. 50

Traité des fours à gaz à chaleur régénérée, par Toldt (trad. Dommer), 392 pages................................ 11 fr.

Résistance des matériaux et Eléments de la théorie mathématique de l'élasticité, par Aug. Föppl, professeur à l'Université tech. de Munich; trad. de E. Hahn, prof. Ec. d'Ing. de Lausanne..... 15 fr.

Industries photographiques, par le Professeur Fabre............. 18 fr.

La Tannerie, par Meunier, Vaney et Vignon (650 p., 98 fig.).......... 20 fr.

Industrie des cyanures, par Robine et Lenglen........................ 15 fr.

Traité des essais de matériaux, par M. Martens, traduction de M. Breuil. 1 vol. de texte de 671 pages avec 558 fig. et un atlas de 31 grandes planches 50 fr.

P. C. N.

Chimie élémentaire, un vol. relié, par M. A. Joannis, professeur à la Faculté des Sciences de Paris (P.C.N.) . . . . 10 fr.

Physique élémentaire, par MM. Chevassus et Thovert, préparateurs à la Faculté des sciences de Lyon. Fascicules brochés :

Premier fascicule.— Mécanique et propriétés générales de la matière. Acoustique. 2 fr.

Deuxième fascicule. — Chaleur. Optique . . . . 3 fr.

Troisième fascicule.— Magnétisme, Electricité. — Météorologie . . . . 3 fr.

Manipulations de physique générale, par MM. Vaillant et Thovert, chef de travaux et préparateur à la Faculté des sciences de Lyon . . . . 3 fr.

Manipulations d'Electricité industrielle, par les mêmes. . . . . 3 fr.

Sciences naturelles, par MM. Faucheron et Conte, préparateur et chef de laboratoire à la Faculté des sciences de Lyon :

Botanique, trois fascicules à 2 fr. et 3 fr. . . . . 7 fr.

Zoologie, un volume . . . . 5 fr.

Ces ouvrages sont également destinés à la préparation aux grades de l'enseignement secondaire et aux élèves des Ecoles de commerce, d'agriculture et d'industrie ; lorsque certains passages ne sont destinés qu'à P. C. N., on les signale par l'emploi de plus petits caractères.

LAVAL. — IMPRIMERIE PARISIENNE L. BARNÉOUD & Cie.

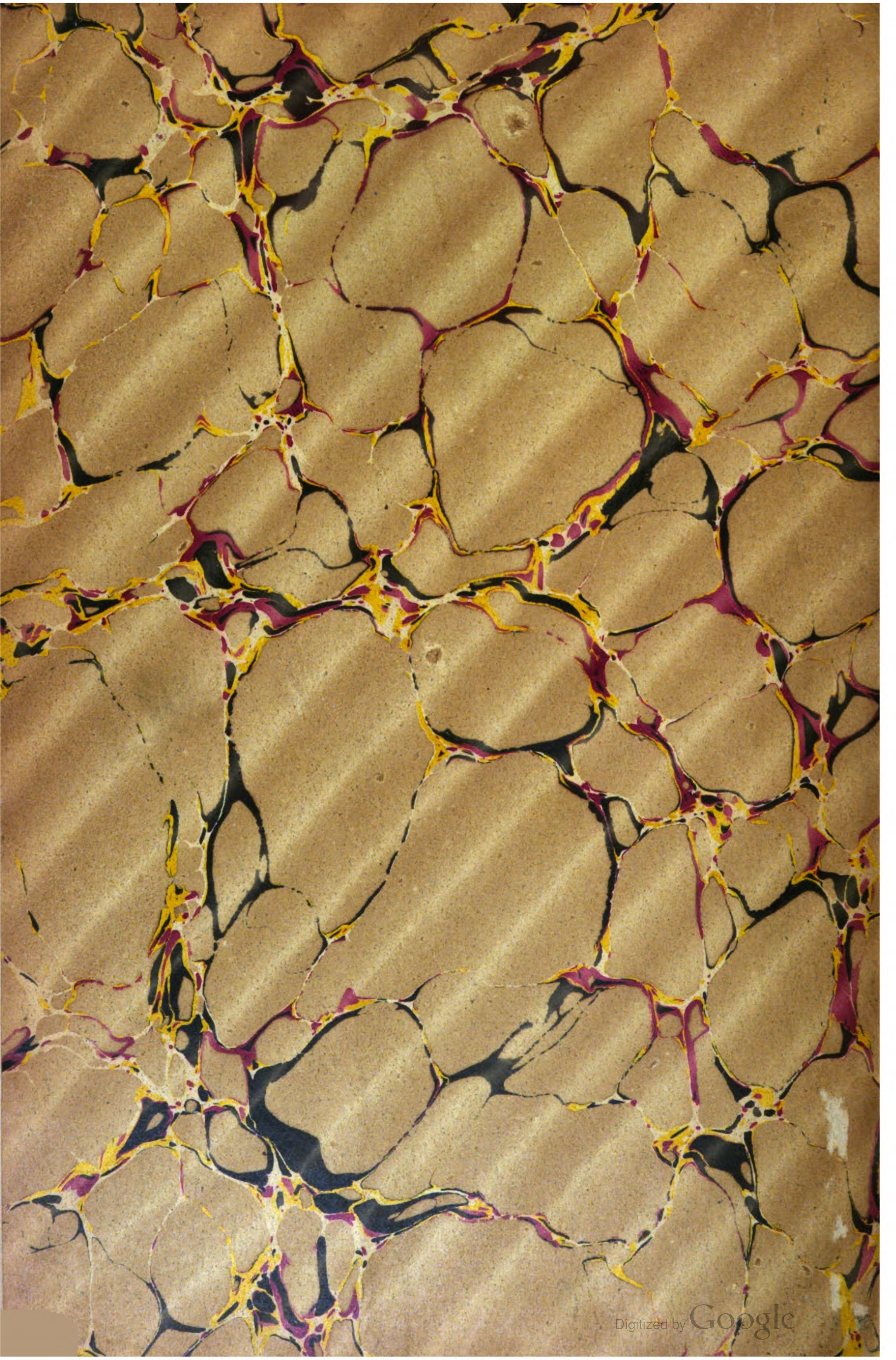

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google


Digitized by Google


YD 17541
140777
T.C 745
M3
Digitized by Google

